



**Centre de Coopération
Internationale en Recherche
Agronomique pour le
Développement**



**Université des Sciences et Techniques de
Lille 1 ;
Master 2 Gestion de la biodiversité et
des Ecosystèmes Continentaux et
Côtiers.**

Influence des pratiques agricoles, de la structure du verger et de son environnement immédiat, sur la mouche du fruit.



Rapport de stage présenté par Virginie Huguenin, dans le cadre du Master 2 « Gestion de la biodiversité et des Ecosystèmes Continentaux et Côtiers » à l'Université de Lille 1. Promotion 2009-2010 et soutenu devant le jury de l'Université de Lille 1, composé de Mme Hautekète, M. Hendoux et M. Piquot.

Maitres de stage : M. Hubert de Bon, CIRAD Montpellier;
Et M. Jean-Yves Rey, CIRAD Sénégal.

Résumé

Introduction : Le commerce de la mangue est de première importance au Sénégal aussi bien pour le marché local que pour l'exportation. Depuis quelques années pourtant, une diminution des exportations apparaît. Les fruits connaissent une baisse de qualité et sont menacés par un nouveau ravageur : la mouche du fruit : *Bactrocera invadens* qui s'ajoute aux espèces endémiques telles que *Ceratitis cosyra*. Le manque de moyens dont disposent les exploitants sont encore un réel problème face à l'importance de cette menace. Il a donc été étudié, l'influence des pratiques agricoles, de la structure du verger et de son environnement immédiat, sur la mouche du fruit. **Matériel et**

méthodes : le suivi des populations de ces deux ravageurs a été réalisé avec des pièges composés d'un attractif sexuel de synthèse associé à un insecticide. Des relevés hebdomadaires de ces pièges permettent de suivre l'évolution des densités de population au cours de l'année. Des relevés phytosociologiques, des espèces composant les haies, ont également été réalisés à des fins d'identification de plantes-hôtes susceptibles d'abriter les mouches lors de la mauvaise saison. L'environnement immédiat des vergers a également été caractérisé afin de déterminer des éventuelles zones de refuges ou de reproduction à proximité des vergers de manguiers. Enfin, les pratiques culturales appliquées et la structure du verger ont été précisées, pour déterminer quelles sont les pratiques qui peuvent être mises en relation avec les fluctuations de population.

Conclusions et perspectives : L'étude des biodiversités des haies et des espèces fruitières cultivées ne permettent que de révéler une corrélation positive entre présence de papayers (*Carica papaya*) et mouches du fruit. Bien que l'hypothèse d'un effet microclimat sous frondaison des arbres du verger n'ait pu être montré, certaines pratiques agricoles (utilisation d'irrigation, engrais...) semble cependant avoir un effet sur les populations de ravageurs.

Abstract :

Introduction : Mango is the first fruit of Senegal, because of its place on the market. But, since a few years, the numbers of sales in the world decrease dramatically because of a loss of fruit's quality, and the threatening of new species: *Bactrocera invadens* and *Ceratitis cosyra*. The lack of means of the farmers is a real problem in front of this new threat. Here is a study of the influence of agricultural practices, field's structure and its close environment on the fruit flies. **Means and**

method: the variations of the population's density were observed with traps composed with a sexual attractive and an insecticide. The weekly picking of the traps reveals the evolution of population's density along the year. The species of hedge's plants were identified and counted with a phytosociological mean, in order to recognize any host-plant where fruit flies take shelter during the bad season. The orchard's close environment had to be known, to make known any kind of habitat where the fruit flies could hide, near mango's orchards. Finally, the orchard's agronomical practices and its structure were studied to underline which one of them had to be change in a goal of creating an unfavorable habitat for these animals. **Conclusion and prospects:** The study of the effects of the hedge and orchard's Biodiversity, on populations of fruit flies, shows only one correlation: the presence of fruit flies appears bind to papaya's one (*Carica papaya*). Even if the hypothesis of a microclimate under the trees, brings good conditions for fruit flies development has not been revealed, many of the agronomical practices seems to have an effect on these quarantine pests.

Mots clés :

Ceratitis cosyra ; Bactrocera invadens ; ravageurs ; manguiers ; pratiques agricoles ; biodiversité.

Remerciements :

Je tiens, en tout premier lieu, à remercier M. de Bon, pour m'avoir offert l'opportunité de travailler sur une problématique aussi intéressante et pour m'avoir fait confiance tout au long de ce stage. Je voudrais encore lui dire toute ma reconnaissance quant à son encadrement ; j'ai tant appris.

Je voudrais également remercier M. Rey, qui a cadré mon travail au Sénégal tout en me laissant beaucoup d'autonomie. Travailler au Sénégal a été réellement enrichissant, tant sur un plan professionnel que personnel.

Je remercie aussi Mme Grechi avec qui j'ai partagé une partie conséquente du travail effectué dans cette étude. Vos compétences en statistiques ont grandement contribué à ce travail. Echanger des connaissances entre deux disciplines est parfois difficile, ce fut, cette fois, très enrichissant.

Merci à l'équipe du CIRAD de Baillarguet pour leur accueil et pour tous ces moments partagés. Ils me laisseront de très bons souvenirs.

L'enthousiasme et la complémentarité des savoirs de chacun à vraiment rendu ce stage particulièrement intéressant, à tous points de vue. Ce rapport est vraiment le fruit d'un travail en équipe que j'ai beaucoup apprécié.

Un grand merci aussi, à tous ceux qui ont participé au travail de terrain et sans qui cette étude n'aurait été possible ; je pense tout particulièrement à Moussa et à Mohamed, mes *Baye Fall* préférés, qui ont contribué à me faire découvrir leur pays et à m'y sentir bien.

Je salut enfin tous ceux qui m'ont encouragés et rassurés durant cette période : Anne-Claire, merci du fond du cœur d'avoir été là ; Patrice, je peux toujours compter sur toi. Marie, pour ta bonne humeur et ton inaltérable soutien. Del Wagon, Ricky, Guillaume et Benj', mes pensées se tournent vers vous. Jeanne, merci pour tout.

Enfin, j'adresse toute ma reconnaissance à mes chers parents, à Tily et à ma petite Mam qui m'ont toujours aidé, et à qui je dois tant.

Sommaire :

I. Objectifs de l'étude.	9
II. Présentation du CIRAD	9
2.1) <i>Histoire</i>	9
2.2) <i>Ses missions</i>	11
2.3) <i>Les partenaires du CIRAD au Sénégal</i>	11
III. Présentation du Sénégal.....	12
3.1) <i>Géographie</i> :	12
3.2) <i>Pédologie</i> :.....	13
3.3) <i>Climatologie</i>	14
3.4) <i>Manguier et Sénégal</i>	14
3.5) <i>La flore</i>	15
IV. La Mouche du Fruit :	16
4.1) <i>La mouche du fruit, arrivée d'un nouveau ravageur</i>	16
4.2) <i>Présentation de la mouche Ceratitis cosyra</i>	17
4.2.1) <i>Taxonomie et description</i>	17
4.2.2) <i>Répartition géographique</i>	17
4.2.3) <i>Plantes-hôtes</i>	18
4.2.4) <i>Biologie</i>	18
4.3) <i>Présentation de la mouche Bactrocera invadens</i>	19
4.3.1) <i>Taxonomie et description</i>	19
4.3.2) <i>Répartition géographique</i>	19
4.3.3) <i>Plantes-hôtes</i>	20
4.3.4) <i>Biologie</i>	20
V. Les différents impacts de la Mouche du fruit.....	20
5.1) <i>Domages sur le fruit</i>	20
5.2) <i>Conséquences économiques majeures</i>	20
5.3) <i>Impacts environnementaux indirects</i>	22

VI. Matériel et méthodes:.....	25
6.1) <i>Choix des zones d'étude :</i>	25
6.2) <i>Choix des vergers :</i>	25
6.3) <i>Pratiques agricoles.</i>	26
6.4) <i>Relevés floristiques des haies :</i>	27
6.5) <i>méthodes d'observation des mouches du fruit.</i>	28
6.6) <i>Etude statistique.</i>	29
VII. Résultats.	30
7.1) <i>Description de la structure des vergers.</i>	30
7.2) <i>La diversité fruitière cultivée.</i>	33
7.3) <i>Conséquence des pratiques agricoles sur les populations de mouches du fruit.</i>	36
7.4) <i>Diversité des haies encadrant les vergers et environnement direct.</i>	37
7.5) <i>Populations des mouches du fruit ; comparaison des dynamiques des deux espèces.</i>	39
VIII. Discussion	42
8.1) <i>description de la structure du verger.</i>	42
8.2) <i>Diversité fruitière cultivée.</i>	43
8.3) <i>Impact des pratiques agricoles.</i>	44
8.4) <i>Diversité des haies et environnement direct.</i>	46
8.5) <i>Densité de populations de mouches du fruit.</i>	44
IX. Conclusion et perspectives.	46

Table des illustrations :

Figure 1: Le CIRAD dans le monde.....	11
Figure 2: Carte de la pédologie du Sénégal (IRD).....	13
Figure 3: Evaluation de la pluviométrie moyenne du Sénégal (Sénégal).....	14
Figure 4: <i>Ceratitis cosyra</i> , d'après une photographie de G. Goergen.	17
Figure 5: Carte de distribution géographique de <i>Ceratitis cosyra</i> . D'après une carte de l'EPPO (<i>European and Mediterranean Plant Protection Organization</i>)	18
Figure 7: <i>Bactrocera invadens</i> mâle.	19
Figure 6: Cycle biologique de <i>Ceratitis cosyra</i>	19
Figure 8: Système des impacts liés aux mouches des fruits. Traduit d'après FAO, 2001	21
Figure 10 : Représentation des 3 zones d'études (encerclées en noir), d'après photographie satellite de Google Earth ©.....	25
Figure 11: Proportions en espèces fruitières cultivées et en variétés de mangues dans les vergers de Pout, Sébikhotane et Noto.	31
Figure 12: Représentation graphique des proportions en mangue, agrumes et autres arbres fruitiers dans les 3 zones.....	32
Figure 13: Densités locales de plantations parmi 13 espèces fruitières cultivées.	33
Figure 14: Graphique des indices de biodiversité fruitière cultivée pour les vergers de Pout, Sébikhotane et Noto.	34
Figure 15: Représentations graphique des proportions de mangues, agrumes et autres arbres fruitiers dans les vergers des 3 zones.....	35
Figure 16: Corrélation entre présence de papayes et populations de ravageurs.	36
Figure 17: Proportions en variétés de mangues destinées à l'export et celles destinées au marché local.	37
Figure 19: Variations des indices de Shannon calculée pour la diversité des haies des vergers dans les 3 zones d'études.....	38
Figure 20: Calcul du coefficient de corrélation R^2 et représentation graphique du lien entre biodiversité des haies et densité de population de mouches du fruit.....	39
Figure 22: Courbe de croissance de la population de <i>B. invadens</i>	40
Figure 21: Variations des effectifs de population des 2 espèces de ravageurs : <i>Bactrocera invadens</i> (Bi) et <i>Ceratitis cosyra</i> (Cc), du 22 mai au 17 juillet 2010 (N2).....	40
Figure 23: Courbe de croissance de la population de <i>C. cosyra</i>	41
Figure 26: Densités de population de <i>B. invadens</i> , à 2 périodes de l'année ; pour les 3 zones.....	41
Figure 27: Identification de tous les vergers de la zone de Pout.	53
Figure 28: Identification de tous les vergers de la zone de Sébikhotane (appelée KA).	53
Figure 29: Identification de tous les vergers de la zone de Noto.....	54
Figure 30: Caractérisation de "l'état de santé" des arbres, exemples d'arbres.	55
Figure 31: Distribution des milieux qui bordent la parcelle élémentaire dans les 3 zones.	59
Figure 32: Distribution des indices semi-quantitatifs des différentes pratiques agricoles des vergers sénégalais.	63
Figure 33: Coefficient de détermination entre distance à l'océan et densité de populations de mouches du fruit.	66

Tableau 1: Organisation administratif dans les 3 zones d'étude : Pout, Sébikhotane et Noto.....	12
Tableau 2:Matrice simplifiée des impacts liés aux mouches des fruits et aux techniques de lutte associées.....	22
Tableau 3: Moyens de lutte contre la cératite et conclusions pour chaque méthode.	23
Tableau 4: Moyens de lutte contre <i>B. invadens</i> et les conclusions associées.	24
Tableau 5: Conversion des coefficients d'abondance-dominance en pourcentage moyen de recouvrement.....	28
Tableau 6: Effectifs relatifs observés en mangues (Nmangue), agrumes (Nagrume) et autres espèces fruitières (Nautre) dans les vergers des 3 zones.	32
Tableau 7: Mesures de la biodiversité cultivée obtenue avec les indices de Shannon et d'équitabilité pour les régions de Pout, Sébikhotane et Noto.	34
Tableau 8: Effectif en mangues (Nmangue), agrumes (Nagrumes) et autres arbres fruitiers (Nautre) et test de χ^2 des proportions dans les vergers des 3 zones.	35
Tableau 10: Valeurs des p-value de l'anova, en réponse à l'hypothèse de non corrélation.....	36
Tableau 9: test de χ^2 des effectifs de mangue d'export (NmangueEx) et des variétés destinées au marché local (NmangueLoc).....	37
Tableau 11: Résumé statistique et analyse des variances du calcul des indices de Shannon (IndicSha) pour Pout, Sébikhotane (KA) et Noto.....	38
Tableau 12: Coefficient de détermination de l'environnement encadrant la parcelle élémentaire sur les densités de ravageurs	39
Tableau 13: Résumé statistique des densités de populations de <i>B. invadens</i> et <i>C. cosyra</i>	41
Tableau 14:Résumé statistique et test Anova des variations de densité de captures par zone.....	42
Tableau 15: Résultats statistiques du test de comparaison multiple.	42
Tableau 16: Proportions en espèces fruitières cultivées dans les vergers de Pout, Sébikhotane et Noto.....	54
Tableau 17: Proportions en variétés de mangues des vergers de Pout, Sébikhotane et Noto.	54
Tableau 18: Questionnaire d'enquête de caractérisation des pratiques agricoles.....	56
Tableau 19: Coefficients de détermination de grandes pratiques culturelles en relations avec les densités de populations de mouches du fruit.....	58
Tableau 20:Coefficients de détermination des grands types de milieux encadrant les vergers.	60
Tableau 21: Calcul des indices de Shannon des vergers de Noto et représentation graphique.....	61
Tableau 22: Calcul des indices de Shannon des vergers de Sébikhotane et représentation graphique.....	61
Tableau 23 : Indice de Shannon associé à chaque verger de Pout et représentation graphique.....	62
Tableau 24: Noms scientifiques des différentes espèces végétales identifiées dans les haies pour les 3 zones d'étude.	64
Tableau 25: Noms scientifiques, vernaculaires et familles des différentes espèces fruitières rencontrées.	65
Tableau 26: Liste des noms, des molécules actives et des cibles des différents intrants utilisés dans les vergers sénégalais.	65

Introduction

I. Objectifs de l'étude.

Ce mémoire a été fait dans le cadre du master « Gestion de la Biodiversité et des Ecosystèmes Continentaux et Côtiers ». Il s'est déroulé au Sénégal et au CIRAD de Montpellier de mars à septembre 2010. L'objectif général était d'étudier les interactions entre pratiques agricoles, structure du verger de manguier et son environnement immédiat et les populations de mouche des fruits, un des principaux ravageurs de cette culture au Sénégal. Successivement seront abordés : la description du CIRAD, du Sénégal, de la culture de manguier et la biologie des mouches des fruits. Les résultats présentés concerneront : la structure des vergers, les pratiques agricoles, la biodiversité des haies, et les dynamiques de populations de mouches des fruits.

II. Présentation du CIRAD

2.1) Histoire

Le CIRAD, **Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement**, est un organisme scientifique spécialisé en agriculture des régions tropicales. Il est né en 1984 de la fusion d'instituts de recherche en sciences agronomiques, vétérinaires, forestières et agroalimentaires des régions chaudes, créés pendant la période coloniale.

Vieille de plus de cent ans, la recherche agronomique tropicale française a connu un réel essor lorsque les productions tropicales et intertropicales ont été prises en considération dans l'économie nationale, à partir des années 1970. La création du CIRAD, dans un cadre d'évolution de la recherche agronomique française, a montré l'intérêt de la France pour poursuivre des travaux en zone tropicale au service de ses zones tropicales (les Départements et les Pays français d'Outremer) ainsi que dans les pays en développement. Comme tout organisme vivant, le CIRAD continue de s'adapter aux changements de la recherche et de l'aide au développement dans les contextes nationaux et internationaux. Il participe ainsi pleinement, dans le cadre de sa mission, aux grands débats internationaux comme les Objectifs du Millénaire pour le Développement et aux actions nécessaires pour les atteindre. (milleniumgoals)

Naissance du CIRAD en quelques lignes :

L'origine du CIRAD est ancrée dans l'histoire de neuf instituts dédiés à la recherche agronomique tropicale :

- Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux (IRHO).
- Institut de Recherches sur les Fruits et Agrumes (IRFA).
- Institut de Recherches sur le CAoutchouc (IRCA).
- Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux (LEMVT).
- le Centre Technique Forestier Tropical (CTFT).
- Institut de Recherches du Coton et des Textiles exotiques (IRCT).
- Institut Français du Café, du Cacao et autres plantes stimulantes (IFCC).
- Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des cultures vivrières (IRAT).
- Centre d'Etudes et d'Expérimentation du Machinisme Agricole Tropical (CEEMAT).

Quelques grandes dates :

Issus de structures de recherches plus anciennes, ces instituts acquièrent un statut d'associations à but non lucratif, selon la loi de 1901.

- Indépendants au moment de leur création, ils sont rassemblés au sein d'un comité de liaison des organismes de recherches agricoles spécialisés outre-mer à partir de **1958**.

-La création du Groupement d'Etude et de Recherche pour le Développement de l'Agronomie Tropicale (GERDAT), groupement d'intérêt économique, en **1970**, marque un tournant dans leurs relations. Il est chargé de définir les grands axes de la recherche agronomique tropicale, de répartir les crédits budgétaires, de coordonner les relations des instituts avec les pouvoirs publics français et étrangers.

-En **1980**, la reconstruction agronomique tropicale s'organise autour du GERDAT, de l'institut national de la recherche agronomique (INRA) et de l'institut français de recherche scientifique pour le développement de la coopération (IRD ex-ORSTOM – Office de la recherche scientifique Outremer).

-En **1983**, un colloque jette les bases de l'organisation et de la programmation scientifique du nouvel établissement.

-Ces instituts sont regroupés au CIRAD en **1984** avec un statut d'Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (Epic), sous la tutelle de deux ministères français : la recherche et la coopération.

-Par la suite, le nombre des départements sera réduit à sept (7) en 1994, puis à trois (3) en 2007, sur une base scientifique :

- CIRAD-BIOS, département Systèmes biologiques,

- CIRAD-PERSYST, département Performance des systèmes de culture et de transformation tropicaux,
- CIRAS-ES, département Environnement et société.

Chaque département rassemble 15 à 20 unités de recherches. L'effectif du CIRAD est de 1800 personnes dont 900 chercheurs.

Le CIRAD travaille dans ses propres centres de recherche, au sein de structures nationales de recherche agronomique des pays partenaires, de centres de recherches agronomiques internationaux, ou en appui à des opérations de développement.

2.2) Ses missions.

Le CIRAD a pour mission de contribuer au développement rural des pays tropicaux et subtropicaux par des **recherches**, des **réalisations expérimentales**, des actions de **formation**, en France et à l'étranger, **l'information scientifique et technique**, dans les secteurs agricoles, forestiers et agroalimentaires.

Cette responsabilité d'aide au développement durable, le conduit ainsi à participer à l'élaboration de politiques publiques d'aide au développement. Il prend aussi en compte, les enjeux environnementaux par la gestion des ressources naturelles. Il tient aussi compte des conséquences économiques et sociales à long terme, des processus de transformation des sociétés et des territoires du Sud. Le CIRAD fait de la réduction des inégalités, l'un de ses objectifs prioritaires et favorise une conception équitable de mondialisation, par le partage et la construction des savoirs.



Figure 1: Le CIRAD dans le monde.

Organisme de recherche finalisée au service des pays du Sud, le CIRAD intervient dans plus de 50 pays du monde. Il a noué des liens étroits avec les sociétés humaines, les lieux de production agricole, animale et forestière, des pays tropicaux et subtropicaux.

2.3) Les partenaires du CIRAD au Sénégal.

Au Sénégal, le CIRAD compte onze (11) agents accueillis à l'Institut sénégalais de recherches agricoles (ISRA), dont M. J.-Y. Rey, dans les centres internationaux (International Center of Research on AgroForestry, AfricanRice : centre du riz pour l'Afrique) et dans des

organisations de producteurs. L'ISRA compte actuellement environ 300 agents dont une centaine de chercheurs sénégalais. Il est le partenaire de nombreux projets nationaux mais aussi internationaux, financés par des bailleurs, comme la FAO, la Banque mondiale, l'USAID et la Commission européenne. La partie de terrain du stage s'est déroulé sous l'autorité de M. J.-Y. Rey qui travaillait directement avec les producteurs de mangues.

Présentation du Sénégal

III. Présentation du Sénégal

3.1) Géographie :

Le Sénégal est un pays d'Afrique, à l'ouest de la zone sahélienne. Il est bordé par l'océan Atlantique à l'ouest, la Mauritanie (délimité par le fleuve Sénégal qui forme une frontière naturelle) au nord et à l'est, le Mali (dont il est également séparé par le fleuve Sénégal) à l'est ; la Guinée et la Guinée-Bissau au sud. La Gambie forme une enclave dans le Sénégal, pénétrant à plus de 300 km à l'intérieur des terres.

Le Sénégal s'étend sur 196 192 km², soit plus du tiers de la France. Son territoire est compris entre 12°8 et 16°41 de latitudes Nord et 11°21 et 17°32 de longitudes Ouest.

Ce pays, ancien comptoir d'Afrique à obtenu son indépendance en 1960 et à pour capitale Dakar. Le Sénégal est composé de 11 régions, 34 départements et 109 circonscriptions. Les observations ont été faites dans 2 communes et correspondent aux communes et arrondissements de Pout, Sébikhotane et Noto (Cf. tableau I).

Tableau 1: Organisation administratif dans les 3 zones d'étude : Pout, Sébikhotane et Noto.

Région	Département	Communes	Arrondissements	Communautés rurales
Thiès	Thiès	Khombole - <u>Pout</u> - Thiès	Keur Moussa	Diender Geudj - Fandène - <u>Keur Moussa</u>
			Noto	<u>Noto</u> - Tassette
			Thiènaba	Ndiayène Sirah - Ngoudiane - Thiènaba - Touba Toul
Dakar	Rufisque	Bargny - Diamniadio - Rufisque - <u>Sébikhotane</u>	Rufisque	Sangalkham - Yène
			Sangalkham	

3.2) Pédologie :

Les sols du Sénégal présentent une diversité pédologique indissociable de la dynamique géomorphologique et pédoclimatique des climats tropicaux et subtropicaux (Cf. Figure 2).

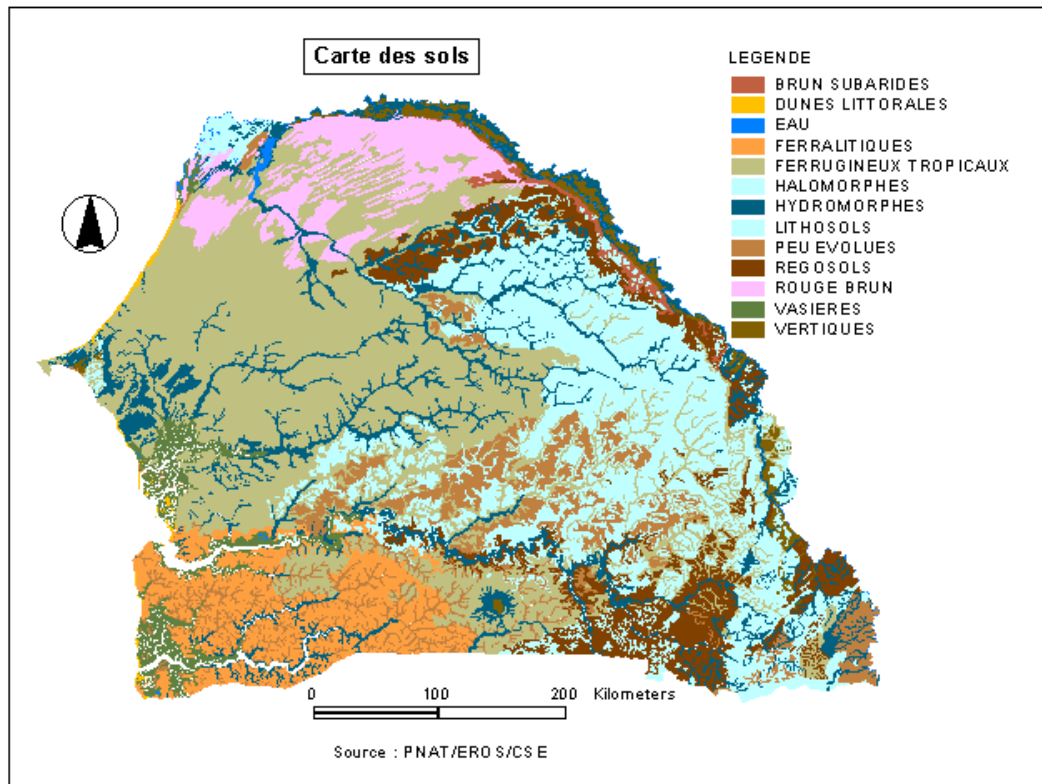


Figure 2: Carte de la pédologie du Sénégal (IRD)

Les variations de la roche mère favorisent la différenciation des sols dans une région. Ce facteur influence donc potentiellement les répartitions des espèces végétales de chacun de ces milieux. Cependant, 47 % des sols sont médiocres ou inaptes à l'agriculture tandis que 36 % ne peuvent donner que de très faibles rendements. (Centre de Suivi Ecologique, 2000). Les sols des zones où s'est déroulée l'étude, sont dominés par le sol dior (sol ferrugineux tropical) lessivé. Ils sont trop peu différenciés pour percevoir un effet sur les répartitions des espèces végétales rencontrées.

Ces sols sont dégradés du fait de la salinité, de l'acidification et de l'érosion éolienne, ou hydrique. Ces facteurs sont liés à la baisse de la pluviosité, à l'adoption de techniques et pratiques culturales intensives : rotations des cultures accélérées, applications d'engrais minéraux, non respect de jachères, surpâturages.

3.3) Climatologie

Le climat du Sénégal est très irrégulier sur l'ensemble de son territoire. Au nord, il est de type sahélien et au sud de type soudano-sahélien, avec une saison des pluies (appelée hivernage), de juin à octobre (variable selon la latitude : moins de précipitations au nord qu'au sud) et une saison sèche, de novembre à juin, avec des alizés continentaux. La zone étudiée est de type sahélo-soudanien. Elle connaît des températures continentales : très chaudes la journée et relativement fraîches la nuit. Ces différences de températures s'atténuent pendant l'hivernage. Elles évoluent toute l'année : les températures minimales sont de l'ordre de 15°C minimum en janvier et les maximales peuvent atteindre 45°C en juin.

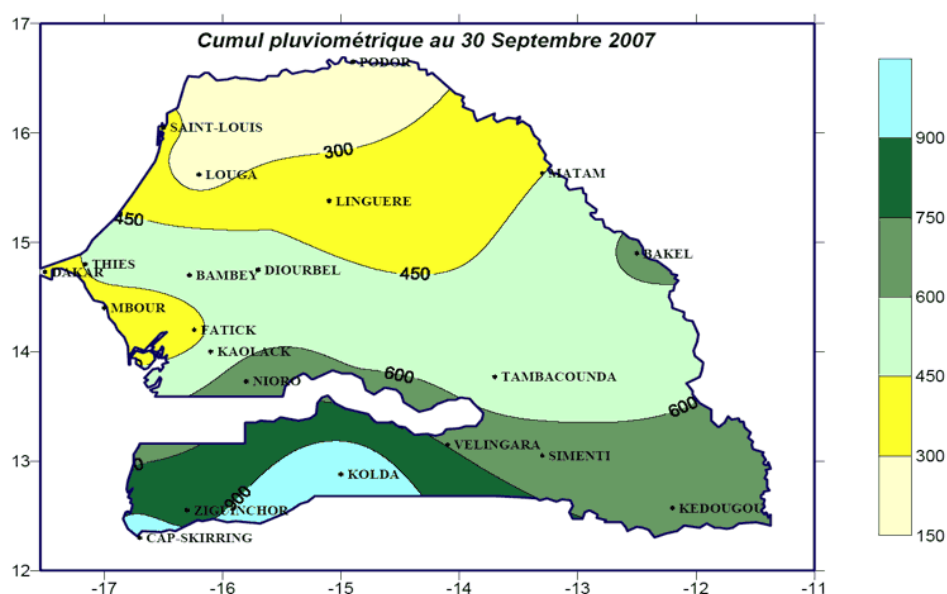


Figure 3: Evaluation de la pluviométrie moyenne du Sénégal (Sénégal)

La zone d'étude possède une pluviométrie annuelle moyenne variant entre 450 et 600 mm/an (Cf. figure 3).

3.4) Manguiers et Sénégal

Le manguiers est un arbre de la famille des Anacardiaceae. Cet arbre peut atteindre 30m de hauteur, à feuillage foncé et persistant. Le manguiers est capable de s'adapter à des climats extrêmement variés, pouvant aller du tropical humide à un climat semi-aride. Il peut également s'acclimater à des sols très divers. Ses températures idéales de croissance sont comprises entre 24°C et 30°C. Une température de 15°C après une saison sèche de 2 à 3 mois, permettent cependant une bonne floraison.

Le manguiers *Mangifera indica* est un arbre très répandu dans toute l'Afrique de l'Ouest. Cependant, cette espèce n'est pas originaire d'Afrique mais d'Inde d'où il a été importé en 1824 (J-Y. Rey, 2004). Sa panicule florale est composée de fleurs mâles et

hermaphrodites. Chaque inflorescence peut porter plusieurs milliers de fleurs qui donneront, après fécondation, quelques fruits, l'éclaircissage naturel, est constaté tout au long de la période de croissance du fruit. Celui-ci, climactérique, est une drupe très polymorphe selon les variétés. (F. le Bellec, 1997)

Il existe 2 groupes de variétés : suivant la nature de l'embryon : mono et poly-embryonnées. La graine est constituée d'un embryon zygotique chez les variétés mono-embryonnées, et d'un ou plusieurs embryons nucellaires chez les variétés poly-embryonnées. Si les variétés poly-embryonnées sont trop riches en fibres et peu cultivées, elles servent cependant de porte-greffes aux variétés mono-embryonnées. Les variétés sont nombreuses, il en existerait plus d'un millier dont : Amélie, Kent, Keit, Bucodiekhale (BDH), Diegbougath (DBG), largement retrouvées au Sénégal. Les densités de plantation optimales sont fonction des variétés mais aussi des pratiques culturales de l'exploitant. Ce fruit a des qualités nutritionnelles exceptionnelles, puisqu'il contient de nombreux caroténoïdes, anthocyanes, vitamines... La mangue tient aujourd'hui une place essentielle dans l'alimentation sénégalaise. Verte, elle est consommée comme condiment, mûre, elle est consommée comme fruit. (J-Y. Rey, 2004). On lui connaît aujourd'hui un grand nombre de ravageurs (charançons, mouches du fruit, cochenilles...) ainsi que de nombreuses maladies (anthracnose, oïdium, bactériose...), qui peuvent compromettre fortement les récoltes.

L'exportation de la mangue sénégalaise reste le plus important commerce d'exportation de fruits frais du Sénégal (environ 8.000 tonnes par an). La principale variété sélectionnée pour ce commerce est la Kent. Elle a été sélectionnée pour ses propriétés gustatives, sa couleur et sa résistance au transport car son fruit mûrit très progressivement. La variété Kent est un gros fruit et sa coloration attractive, mais les rendements par arbre restent moyens. Le calendrier des exportations s'étale de mi-juin à fin septembre. (Gerbaud, 2010). Cependant, depuis quelques années, les exportations de fruits sont en net recul, compte tenu de la multiplication des problèmes de qualité. En effet, la mangue sénégalaise est largement menacée par les mouches du fruit, notamment: *Ceratitis cosyra* et *Bactrocera invadens*.

3.5) La flore.

La flore du Sénégal présente un gradient de biodiversité, croissant du nord vers le sud du pays, conditionnée par les pluviométries. Les principales formations végétales du Sénégal sont les steppes, les savanes et les forêts.

Les steppes couvrent le tiers nord du pays et sont constituées d'un tapis herbacé plus ou moins continu, dominé par *Spermacoce verticillata*, *Indigofera oblongifolia*, *Chloris prieuri*, *Schoenefeldia gracilis*. Elles sont parsemées d'épineux comme *Acacia raddiana*, *Acacia senegal*, *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca*.

La zone de savane qui couvre le tiers central du territoire, comprend : des savanes arborées et arbustives caractérisées par *Sterculia setigera*, *Lannea acida*, *Sclerocarya birrea*, *Parkia biglobosa*. (A-T. Ba, 2001)

Les formations forestières sont, elles, situées dans la partie sud du territoire, et les mangroves dans toutes les zones estuariennes. Une végétation spécifique se rencontre dans les mares temporaires et n'a pu être observée ici, les relevés ayant été effectués lors de la saison sèche (sur une période s'étalant d'avril à juillet).

Les plantes vasculaires constituent le groupe le plus important avec 182 familles, regroupant 1022 genres et 2499 espèces. Ces plantes sont surtout dominées par 6 familles : Graminées, Fabacées, Cypéracées, Rubiacées, Astéracées et Euphorbiacées. Les végétaux non vasculaires sont quant à eux, encore peu connus en règle générale. (Ministère de l'environnement et de la protection de la Nature, 1997)

Le Sénégal présente une biodiversité importante par rapport à sa qualité de pays sahélien, ainsi que de nombreuses espèces protégées qui nécessitent des mesures de protection urgentes.

La végétation naturelle de la zone étudiée est de type savane arbustive (Arbonnier). Le tapis herbacé se développe uniquement pendant la saison des pluies, de juillet à octobre. Il disparaît progressivement pendant la saison sèche. Aucune végétation naturelle herbacée n'était visible de mars à mai, seule une végétation naturelle est maintenue dans les zones de bas-fonds.

Les haies autour des vergers sont des formations artificielles ; soit par des plantes laissées par l'homme, soit par des replantations. La description des haies et de leur diversité végétale sera analysée.

La mouche du fruit

IV. La Mouche du Fruit :

4.1) La mouche du fruit, arrivée d'un nouveau ravageur.

Les mouches des fruits appartiennent à l'embranchement des Arthropodes, à la classe des insectes, à l'ordre des *Diptera* et à la famille des *Tephritidae* (White, 2006). Cette famille comprend deux sous familles (*Dacinae* et *Ceratinae*) et 4300 espèces réparties dans 500 genres dont *Ceratitis* (I-M. White, 1992).

Bien que la mouche du fruit soit un problème connu depuis de nombreuses années en Afrique de l'Ouest sous les traits des cératites (*Ceratitis cosyra*, *C. sylvestrii*, *C. capitata*), une nouvelle espèce nuisible vient de s'installer au Sénégal : *Bactrocera invadens*.

Les mouches des fruits (*Diptera* : *Tephritidae*) font partie des principaux ravageurs de cultures fruitières. Les mouches *Ceratitis cosyra*, endémique de l'Afrique, et *Bactrocera invadens*, invasive, sont les espèces recensées les plus nuisibles au Sénégal. Toutes deux considérées comme des « pestes animales » elles sont jugées comme responsables d'une altération majeure des récoltes puisque celles-ci peuvent être atteintes à plus de 80%.

La définition d'une espèce considérée comme peste (qu'elle soit végétale ou animale) est la suivante : « **Espèce qui a une importance économique, pour un nombre important de pays, qui peut être facilement transportée d'un pays à un autre et peut entraîner une épidémie conséquente, dont le contrôle/management (incluant l'exclusion) requiert la coopération entre de nombreux pays** ». Traduit d'après (FAO, 1996).

Un programme d'étude de ces ravageurs a été mis en place par le CIRAD au niveau de l'Afrique de l'Ouest, et particulièrement au Sénégal. Parmi ses objectifs, ce programme vise à mettre en place un réseau de surveillance des ravageurs pour améliorer l'efficacité des méthodes de lutte.

Depuis plusieurs années, "**Les Tephritidae sont considérées comme les ravageurs les plus nuisibles des cultures fruitières.**" (Gutierrez, 1976_ Tejada, 1980_ Weems, 1981 cités in Bunge Vivier 1993) (Vivier, 1993).

4.2) Présentation de la mouche *Ceratitis cosyra*

4.2.1) Taxonomie et description

Ceratitis cosyra, ou mouche du Natal, appartient à la famille des *Tephritidae*. Elle est classée dans la sous-famille des *Dacinae*, la tribu des *Ceratitini* et la sous-tribu des *Ceratitina*. Les cératites comptent, environ 4000 espèces, dont 250 d'importance économique. De façon générale, les cératites sont petites, ont des taches ou bandes sur les ailes et la surface dorsale supérieure (scutellum).

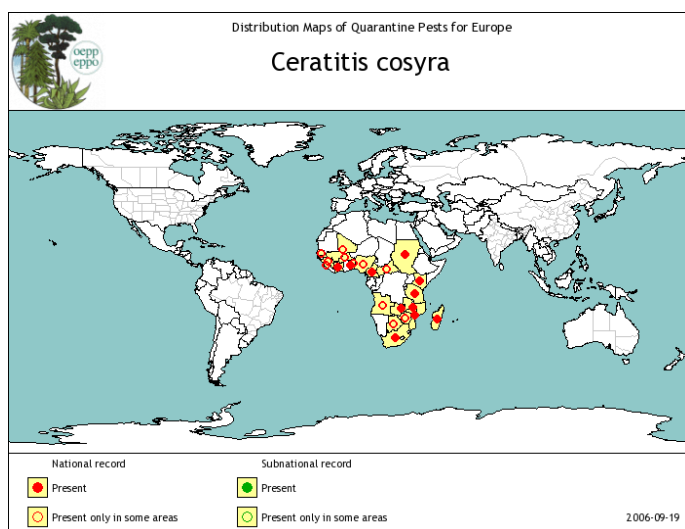


Le scutellum est bombé, tacheté de jaune et noir. La présence d'au moins trois taches noires sur le scutellum ainsi que d'une tache ailaire isolée (entourée sur la figure 4), sont les deux principaux critères de différenciation des *Ceratitis* par rapport aux autres genres.

Figure 4: *Ceratitis cosyra*, d'après une photographie de G. Goergen.

4.2.2) Répartition géographique

D'origine africaine, l'espèce est présente dans le sud de ce continent (Afrique du Sud, Angola, Malawi, Mozambique, Swaziland, Zambie, Zimbabwe), l'est (Ethiopie, Kenya, Ouganda, Tanzanie), le centre (Rwanda, Zaïre) et l'ouest (Mali, Nigeria) (Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes, 2006) (Cf. Figure 5).



Ceratitidis cosyra est l'espèce dominante des cératitides en Afrique de l'Ouest: elle est surtout présente dans les régions de savane sèche.

Figure 5: Carte de distribution géographique de *Ceratitidis cosyra*. D'après une carte de l'EPPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization).

4.2.3) Plantes-hôtes

Cette espèce très polyphage est susceptible de s'attaquer à une large gamme de fruits-hôtes cultivés ou sauvages. On lui connaît actuellement 56 plantes-hôtes. Parmi les plus importantes, on peut citer notamment l'*Anacardiaceae* : *Manguifera indica* (manguier), *Sclerocarya birrea* (prune africaine), l'*Annonaceae* : *Annona senegalensis* (annone), la *Caesalpiniaceae* : *Cordia pinnata* (poire du Cayor) et la *Rubiaceae* : *Sarcocephalus latifolius* (pêche africaine).

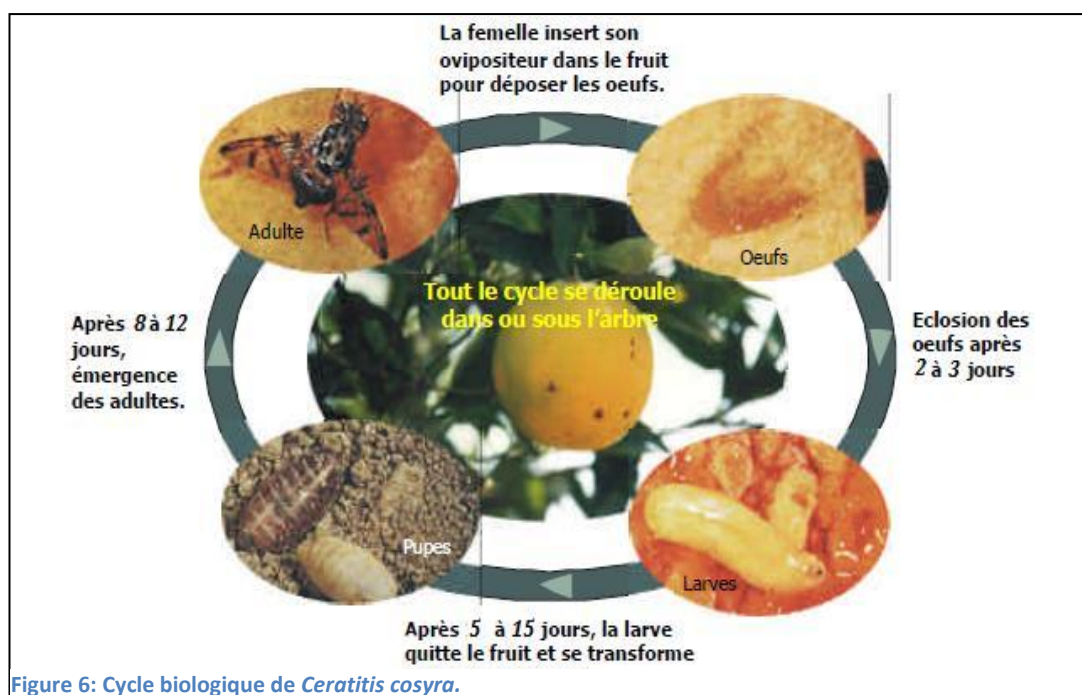
Ces fruits apparaissent comme clairement préférentiels à cette espèce et constituent des fruits-hôtes primaires. Parmi les hôtes secondaires, a été identifié l'*Anacardiaceae* : *Anacardium occidentale* (anacarde). (J-F. Vayssières, 2009).

4.2.4) Biologie

Rassemblés en leks, les mâles émettent une phéromone sexuelle afin d'attirer les femelles. L'accouplement ayant essentiellement lieu la nuit.

Les femelles déposent ensuite leurs œufs sous l'épiderme du fruit-hôte à l'aide de leur ovipositeur. Les œufs éclosent après 2-3 jours et les larves s'enfoncent alors dans la pulpe de fruit et s'en nourrissent pendant plusieurs jours (5 à 10 jours). Les larves s'enfouissent ensuite dans le sol pour se transformer en pupes (8 à 12 jours). De chaque pupa sortira une mouche adulte (Cf. Figure 6).

En laboratoire, la fécondité totale d'une femelle peut atteindre 400 œufs et la longévité des adultes est voisine de 2 mois en moyenne (40 à 90 jours). Après sortie des pupes, les adultes ne sont pas sexuellement mûrs. Les mâles adultes acquièrent une activité sexuelle environ 3-4 jours après émergence des pupes et les femelles adultes environ 6-8 jours après. (J-F Vayssières, Mouches des fruits du manguier, 2010)

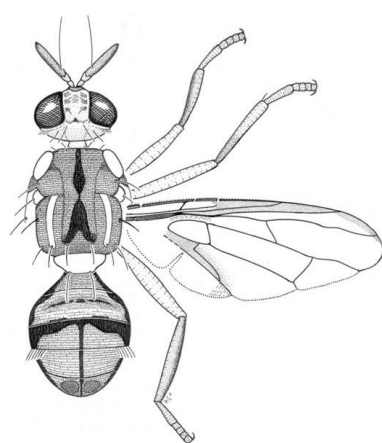


La biologie et la durée de développement de ces insectes dépendent de la température, de l'humidité relative du milieu et de la présence de plantes-hôtes.

4.3) Présentation de la mouche *Bactrocera invadens*.

4.3.1) Taxonomie et description.

La mouche du fruit *Bactrocera invadens* est un Diptère de la famille des *Tephritidae* : *Dacinae*. Cette espèce est considérée comme peste animale et hautement invasive. (R.A.I. Drew, 2005).



Espèce de grande taille (environ 1 cm), présentant deux lignes jaunes thoraciques et un abdomen de couleur orangée avec un « T » central (Cf. Figure 7). Ses ailes sont en majeure partie transparentes et sans taches mais avec une nervure anale bien distincte. Elle peut présenter de nombreuses variations au niveau des dessins et des couleurs du scutellum (Drew et al., 2005).

Figure 7: *Bactrocera invadens* mâle.

4.3.2) Répartition géographique.

Cette mouche du fruit est une nouvelle espèce originaire du Sri Lanka et récemment introduite en Afrique. Elle a été premièrement identifiée en Afrique de l'Est en février 2003 et s'est rapidement répandue pour atteindre la côte ouest africaine en octobre 2004.

4.3.3) Plantes-hôtes

Les plantes préférentielles de cette espèce sont l'*Anacardiaceae* : *Mangifera indica* (mangue), la *Myrtaceae* : *Psidium guajava* (goyave) et le *Sapotaceae* : *Vitellaria paradoxa* (karité). Ils constituent les fruits-hôtes primaires de ces ravageurs. On distingue en hôtes secondaires : l'*Anacardiaceae* : *Spondias mombin* (prune mombin), l'*Irvingiaceae* : *Irvingia gabonensis* (pomme sauvage), la *Caricaceae* : *Carica papaya* (papaye) et la *Sapotaceae* : *Chrysophyllum albidum* (pomme-étoile) (J-F. Vayssières, 2009).

L'espèce est très polyphage, ces différents hôtes jouent un rôle fondamental dans l'infestation et la ré-infestation des vergers. Toutes ces espèces (cultivées et sauvages) doivent être intégrées dans la stratégie globale de lutte contre cette espèce invasive (Ndiaye, 2009).

4.3.4) Biologie.

B. invadens est une espèce invasive, donc nouvellement étudiée, et sur laquelle il y a peu d'informations.

L'espèce est multivoltine (plusieurs générations par an). Les femelles piquent les fruits à l'aide de leur ovipositeur pour déposer leurs œufs dans la pulpe. Une femelle pond en moyenne 700 œufs mais cela dépend de la plante-hôte, de la saison et des zones agro-écologiques (J-F Vayssières, Mouche des fruits du manguier, 2010).

Elle a une durée de vie d'environ 3 mois ([Ekesi et al., 2006]) mais le développement des adultes est principalement conditionné par les conditions environnementales du milieu. (J.F Vayssières, 2008)

V. Les différents impacts de la Mouche du fruit.

5.1) Dommages sur le fruit.

Au point de piquûre, les fruits attaqués présentent généralement une zone de décoloration qui évolue en une tache de pourriture. L'attaque se traduit souvent par le mûrissement précoce du fruit.

Sur les espèces les plus sensibles, comme le manguier, les dégâts de *Ceratitidis cosyra* et de *Bactrocera invadens* peuvent aller, en l'absence de traitements, jusqu'à la destruction totale de la récolte. Les dégâts sont également importants sur les fruits-hôtes primaires et généralement moyens sur les agrumes.

5.2) Conséquences économiques majeures.

Le schéma suivant (Figure: 8) est proposé par la FAO (*Food and Agriculture Organization*) pour synthétiser les impacts des mouches des fruits, et leur impact économique d'importance majeure.

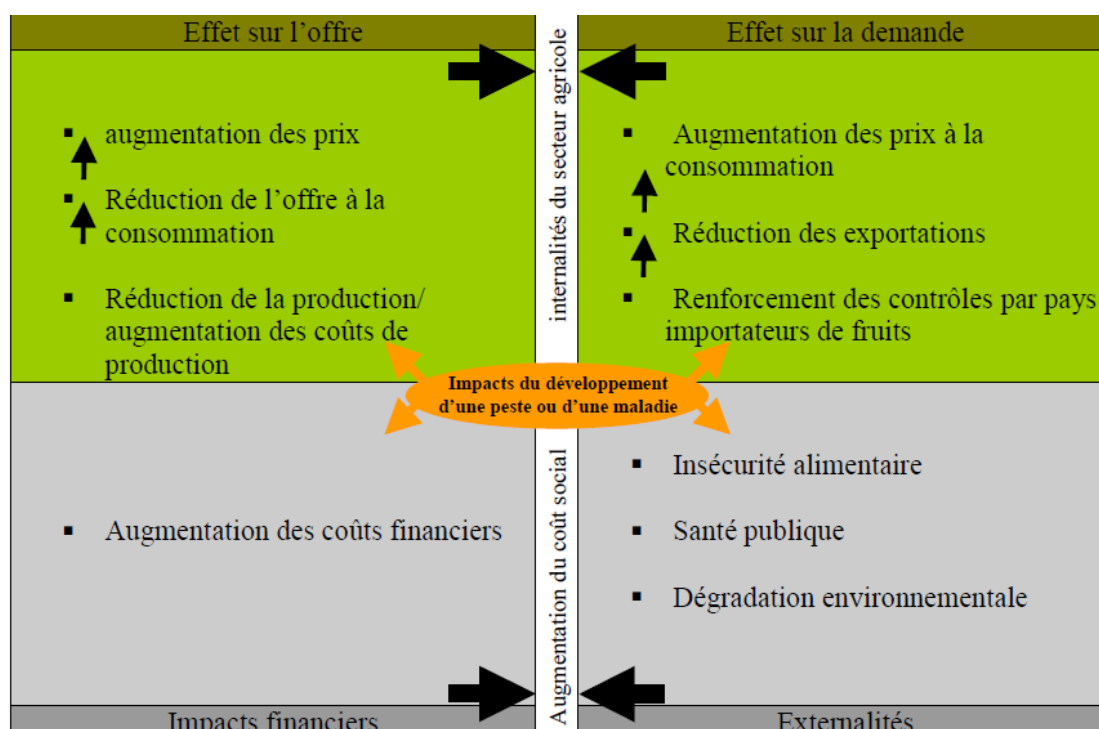


Figure 8: Système des impacts liés aux mouches des fruits. Traduit d'après FAO, 2001

Les différents impacts et économiques y sont présentés : effets financiers (coût de lutte importants), effet sur l'offre (qui se réduit) et la demande (augmentation des prix pour les consommateurs). Enfin, les impacts environnementaux négatifs (dégradation de l'environnement, insécurité alimentaire et problèmes de santé induits) restent des externalités négatives importantes.

Les travaux de synthèse d'évaluation économique à l'échelle nationale du Sénégal et de l'impact de ces pestes, sont peu nombreux. Cette carence est d'ailleurs soulignée par la FAO dans son rapport annuel "[4, FAO]" : on estime ainsi que l'évaluation économique du coût des pestes animales ou végétales et des mesures de contrôle associées est pourtant nécessaire. Elle facilite la sélection de techniques de lutte et de solutions économiquement efficaces dans le cadre de la mise en place de mécanismes de lutte appropriés. « Dans de nombreux cas, des modalités de gestion innovante des impacts économiques seraient plus efficaces que le contrôle direct des pestes et maladies ».

Les travaux synthétiques relatifs à l'impact économique des mouches des fruits à l'échelle mondiale restent relativement peu nombreux. Cette évaluation est pourtant nécessaire aux prises de décision concernant la mise en place de politique d'éradication ou de contrôle des *Tephritidae*.

Des travaux sont menés afin d'évaluer l'impact économique des mouches des fruits dans les pays tropicaux (Claudel, 2003)(se référer au site internet de la FAO : www.fao.org).

5.3) Impacts environnementaux indirects.

On note cependant que le contrôle des ravageurs peut aussi avoir des impacts indirects sur les écosystèmes, notamment du fait de l'utilisation de traitements chimiques. Il reste essentiel d'également considérer les différents effets de ces méthodes de limitation des populations sur les activités économiques, l'environnement et milieu humain (impacts sanitaires) (Cf. Tableau 2).

Tableau 2: Matrice simplifiée des impacts liés aux mouches des fruits et aux techniques de lutte associées.

	Milieu récepteur d'impacts	Attaque des vergers et zones maraîchères par les mouches des fruits	Protection aux frontières	Lutte chimique classique	Lutte intégrée (traitements par tâches)
Milieu ABIOTIQUE	Sol			Pollution par les produits diffusés in situ	
	Eau			Pollution par les insecticides à l'échelle du bassin versant + océan. Surdosage fréquent	
	Air			Pollution par la diffusion aérienne des produits	
Milieu BIOTIQUE	biodiversité	Risques de disparitions d'insectes endémiques et/ou dominance par ces nouvelles espèces	Limitation des risques de disparition de ces insectes par la dominance de ces invasifs	Destruction de la faune non ciblée. Perte de biodiversité continentale et marine0	Destructions plus limitées de faune non ciblée
	Faune			Mortalité élevée de la faune marine et continentale. Développement de souches résistantes	
	Flore			Risque pour la flore environnante, à l'échelle du bassin versant et dans l'océan	
Milieu ANTHROPIQUE	Santé	Faibles risques de problèmes digestifs par consommation des fruits atteints	Limitation des risques sanitaires par le contrôle de fruits importés	Ingestion de produits chimiques nocifs lors des phases d'aspersion	Réduction des insecticides nocifs à la santé
	Economie	Pertes directes des produits par leur pourrissement. Limitation à l'export des fruits	Surcoût lié au contrôle : mise en place de quarantaines, traitements post-récoltes, structures de contrôle de qualité	Coût liés à l'investissement pour la lutte, baisse de rentabilité. Augmentation du prix pour le consommateur	Coût liés à l'investissement pour la lutte, baisse de rentabilité. Augmentation du prix pour le consommateur
	Agriculture	Déprise agricole, abandon des cultures, réorientation des productions	Protection des marchés intérieurs. Limitation des risques pour la filière	Déprise agricole, abandon des cultures, réorientation des productions, équipements de lutte	Déprise agricole, abandon des cultures, réorientation des productions, équipements de lutte

Il existe différentes méthodes de lutte pour limiter les populations de mouches du fruit. Ainsi, sont recensées la lutte chimique, la lutte intégrée, la lutte biologique et le lutte culturale.

Le tableau suivant (Tableau 3), récapitule les principales pistes pour la limitation des populations de cératites, travaillées au niveau international, et les conclusions pour chacune d'elles (GRAB, 2003).

Tableau 3: Moyens de lutte contre la cératite et conclusions pour chaque méthode.

Stratégie	Conclusions
Lutte biologique avec les auxiliaires de culture	Utilise les auxiliaires de culture (prédateurs et parasitoïdes). Enjeu majeur mais auxiliaires difficilement utilisables bien qu'existant (P. Rousse, 2005).
Piégeage massif	Réduit les populations, mais valable si la capture peut avoir un effet sur la dynamique des populations. technique adaptée à de grandes surfaces (> 1ha) et/ou isolée d'autres inoculums, coûteuse en temps et moyens (achat, pose, retrait).
Stérilisation des mâles	Lutte autocide. Technique très lourde, exigeant des moyens nationaux.
Travail du sol	Pas d'impact sur la réduction de l'émergence des pupes, effet trop marginal sur les populations.
Insecticides	Pas de produit systémique (actif sur larves) ; adultes très mobiles, donc traitements souvent peu actifs ; « Spinosad » (voir annexes p 51) en cours de tests et homologation à venir (Laboratoire Enigma). GF-120, efficace mais coûteux.
Confusion sexuelle	Non développée, car globalement inefficace.

La méthode de lutte raisonnée associe le piégeage sexuel, pour la surveillance des populations de mâles, à l'utilisation d'appâts empoisonnés, constitués d'un attractif sexuel et d'un insecticide. Cette technique permet une réduction des volumes employés et des quantités d'insecticide répandus par hectare et permet donc de limiter les impacts négatifs sur l'environnement tout en permettant une réduction des populations de ravageurs.

Bactrocera invadens cause des pertes de récolte très importantes. Les échantillonnages à intervalles réguliers de mangues infestées permettent de dire que les variétés dites « de saison » et les variétés dites « tardives » sont beaucoup plus attaquées que les précoces (Vayssières et al, 2005). En effet, cette espèce devient largement prédominante après les premières pluies, facteur de déclenchement de la pullulation.

On connaît plusieurs méthodes de lutte contre cette espèce (Cf. Tableau 4). Cependant, jusqu'à présent, aucune méthode de lutte prise individuellement ne garantit des résultats durables dans le combat contre les mouches du fruit. Il s'avère indispensable de promouvoir un ensemble de méthodes de lutte efficaces, compatibles entre elles et viables économiquement, en vue de leur transfert aux exploitants.

Tableau 4: Moyens de lutte contre *B. invadens* et les conclusions associées.

stratégie	Conclusions
Récoltes sanitaires	Efficacité prouvée dans le cadre de la réduction des populations et non des éradications. Nécessité d'avoir une stratégie à l'échelle du bassin d'exploitation et non individuelle.
La lutte chimique classique	Utilisation d'insecticides de synthèse. Présente des inconvénients (pollution, résistance des insectes).
La lutte raisonnée	Piégeage pour la surveillance des populations et utilisation raisonnée des insecticides et à des mesures prophylactiques adaptées. (Quilici et Franck, 1999 in Duyck 2000). Peu efficace dans le système d'organisation des exploitations sénégalaise.

Pour être efficace, la lutte doit être programmée à l'échelle du bassin de production et pas seulement à l'échelle individuelle. Les vergers alentour peuvent, en effet, agir comme des réservoirs de mouches. Les pistes de contrôle des populations explorées jusque là et depuis près de 50 ans n'ont pas permis d'apporter les solutions adaptées aux cultures sénégalaises, caractérisées par des petites parcelles, où les moyens financiers (à des fins de lutte) sont très différents entre exploitants.

Cette déficience peut être expliquée en partie par :

- Une grande mobilité des adultes
- Une fécondité importante : 300 à 700 œufs par femelle en moyenne (J-F Vayssieres, Mouches des fruits du manguier, 2010).
- Espèce invasive débarrassée de ses ennemis. Elle investit alors son énergie de défense dans la fitness (croissance, reproduction), expliquant ainsi la facilité de ces animaux à se multiplier.
- Une larve en permanence dans le fruit, qui la rend peu exposée aux attaques extérieures ou aux insecticides.
- Un manque de lutte à l'échelle régionale. Les quelques traitements appliqués ne se font qu'à l'échelle individuelle (lorsqu'elle n'est pas trop coûteuse), insuffisante à une lutte efficace.

Le problème des mouches du fruit, est un problème de première importance à la vue des impacts économiques et sanitaires qu'elles induisent. L'objectif du stage est d'étudier les interactions éventuelles entre la structure des vergers, les pratiques agricoles, l'environnement immédiat des vergers, et les dynamiques de population de ces animaux en saison sèche. En effet, des disparités de densités de populations ont été observées, par des études précédentes (Ndiaye, 2009), entre les différents vergers sélectionnés pour l'étude. Il serait donc intéressant de connaître quelle peut être l'influence de ces variables, sur les pullulations de la mouche du fruit.

Matériel et méthodes.

VI. Matériel et méthodes:

6.1) Choix des zones d'étude :

Les observations ont été effectuées à l'échelle du bassin d'exploitation, dans les vergers de 3 bassins de production distincts.

Les zones suivies correspondent aux villages de Pout, Sébikhotane et Noto (Cf. Figure 10). Ce sont des zones d'importance pour la production de mangues, d'accès aisé (route goudronnées ou pistes bien entretenues), et proches de Thiès (0 à 30 kms).

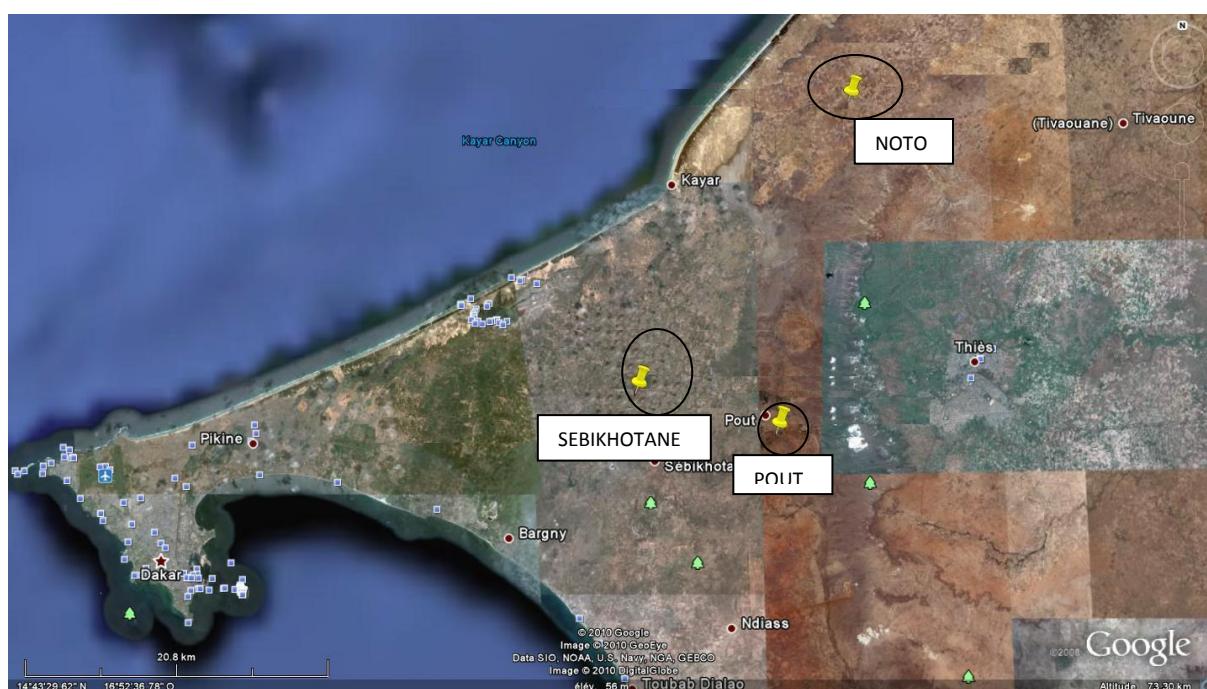


Figure 9 : Représentation des 3 zones d'études (encadrées en noir), d'après photographie satellite de Google Earth ©.

Tandis que Pout et Sébikhotane regroupent un grand nombre de petits vergers et souvent polycultureaux, Noto est une zone d'exportation où la variété de mangue appelée Kent est largement prédominante dans les grands vergers monocultureaux.

6.2) Choix des vergers :

Différents critères ont été utilisés pour sélectionner les vergers à caractériser.

- accessibilité en toute saison,
- leurs variations en densités de population des ravageurs (d'après les données des années précédentes) (Ndiaye, 2009),
- vergers pluri ou mono-spécifiques,
- proximité avec Thiès (zone de résidence).

Ces vergers se différencient par des pratiques culturelles très hétérogènes, comme l'utilisation ou non de pesticides ou l'entretien global du verger. Ces pratiques peuvent aussi créer (par des densités de plantations élevées, une diversité cultivée et le non ramassage des feuilles mortes) un microclimat favorable au développement des bio-agresseurs (S. Simon, 2009).

C'est à partir de cette hypothèse que l'étude a débuté.

Le verger a été considéré comme une unité d'étude. Lorsque le verger est grand, il a été découpé en unités d'étude ou parcelles élémentaires ; chacune, étudiée comme s'il s'agissait d'un verger indépendant. Pour chaque parcelle élémentaire, deux à trois pièges ont été installés. Chaque verger a été identifié avec un numéro unique (de 1 à 45). Pour certains vergers, une lettre (A, B, C ou D) associée au numéro du verger, permet d'identifier les parcelles élémentaires du verger.

La structure du verger a été décrite avec les critères suivants :

- les espèces cultivées : espèces des arbres fruitiers cultivés et variétés de mangues. Cela offre notamment une bonne estimation de la biodiversité cultivée.

- les distances de plantation sur le rang et inter-rang, afin de quantifier les densités de plantation moyennes. Ces mesures ont été obtenues avec l'aide d'un décamètre. En cas de mélange d'espèces cultivées ne permettant pas de distinguer un rang « net », les distances avec l'arbre le plus proche a été préférée.

- une évaluation de la hauteur des arbres et des diamètres de frondaison. Ces données caractérisent aussi la quantité d'ombrage au sol.

- un « état de santé » des arbres. Cette donnée caractérise dans un premier temps l'entretien du verger. Des arbres en meilleure santé sont susceptibles de se révéler être de meilleurs « réservoirs à mouches ». Cet état de santé a été évalué sur une échelle de 1 à 5. La note de 5, correspondant à un arbre en bonne santé : feuillage dense, nombreuses fructifications (voir annexes Figure 30) (Assié, 2008).

- la quantité de feuillage sec au sol ou litière. Celle-ci est mesurée sur une échelle de 0 à 3. Le nombre de 0, correspondant à un sol entièrement nu tandis que la note de 3 correspond à un sol entièrement recouvert par les feuilles et/ou les résidus de taille.

- Le nombre d'arbres morts témoigne également de l'entretien du verger, et permet de quantifier les puits de lumières supposés défavorables aux ravageurs.

Ces mesures ont été faites sur au moins 100 arbres dans un même verger.

Ainsi, un total de 58 parcelles élémentaires correspondant à 45 vergers, ont été caractérisés (voir annexes, Figures 27, 28, 29).

6.3) Pratiques agricoles.

Les pratiques agricoles correspondent à l'application des obligations législatives et réglementaires tout en optimisant la production agricole et en réduisant le plus possible les

risques environnementaux et sanitaires. Les pratiques agricoles correspondent donc à l'ensemble des intrants dans verger, la quantité de leurs apports et leur fréquence, le travail du sol, l'utilisation secondaire du verger (pâturage, cultures maraîchères intermédiaires, l'irrigation etc.).

Un questionnaire a été préparé afin de préciser quelles sont les pratiques agricoles appliquées par les exploitants dans les vergers choisis. Les questions portent sur les techniques agricoles et donnent une indication sur les modes d'exploitation des vergers sénégalais. Certaines, permettent de déterminer des éléments de gestion individuelle des exploitations, qui peuvent avoir des impacts directs sur la dynamique des populations de ces bio-agresseurs (voir annexes Tableau 18).

Les principaux axes de recherches des relations entre ces pratiques agricoles et les variations de ces densités des mouches, ont ensuite été basés sur l'hypothèse d'un effet microclimatique dans les arbres du verger. Ainsi, l'existence de cultures intermédiaires, l'irrigation, l'utilisation de pesticides, de travail du sol ou encore de « récoltes sanitaires » sont autant de caractéristiques de ces pratiques qui peuvent influencer sur les mouches des fruits.

6.4) Relevés floristiques des haies :

Une évaluation de la biodiversité des haies bordant le verger sur les quatre côtés (Nord, Sud, Est et Ouest) a été effectuée. Celle-ci correspond à un recensement, le plus exhaustif possible, de toutes les espèces végétales les composant. (L'identification a été réalisée avec l'aide du guide « Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest » de M. Arbonnier aux éditions Quae©).

Basées sur les principes de phytosociologie, ont été obtenues des listes d'espèces présentes auxquelles ont été attribuées des coefficients d'abondance-dominance et de sociabilité (voir annexes page 52). Ces indices sont semi-quantitatifs et correspondent à des coefficients basés sur des estimations de la densité des espèces (indice d'abondance) et des taux de recouvrement c'est-à-dire leur projection au sol (indice de dominance). L'indice de sociabilité, permet d'évaluer le mode de répartition des individus sur la surface étudiée.

Cette étude a été menée afin de déterminer si certaines haies pouvaient être corrélées à la présence de mouches, les différentes espèces de ces haies pouvant servir de refuge ou de plantes-hôtes secondaires aux mouches des fruits et les auxiliaires.

A partir de ces résultats, l'indice de Shannon a été calculé. Il permet de rendre compte de la biodiversité tout en prenant en compte le « poids » des espèces, c'est-à-dire leur importance fonctionnelle au sein de la communauté (Ricklefs, 2005). Ainsi, l'indice de Shannon donne une bonne idée de la diversité dans laquelle la contribution de chaque espèce est pondérée par son abondance relative. Cet indice nécessite un dénombrement des

individus de chacune des espèces. Or, dans le cas de ces relevés, basés sur les principes de phytosociologie, il faut convertir les coefficients d'abondance-dominance en un pourcentage moyen de recouvrement (Cf. Tableau 5). Celui-ci correspond alors à la valeur moyenne de l'intervalle de recouvrement correspondant à chaque coefficient (Bouzillé, 2007).

Ainsi, on obtient pour chaque indice :

Tableau 5: Conversion des coefficients d'abondance-dominance en pourcentage moyen de recouvrement.

Coefficient d'abondance-dominance	Recouvrement correspondant à chaque indice	Pourcentage moyen de recouvrement
5	(R) > 75%	87,5
4	50 < R > 75%	62,5
3	25 < R > 50%	37,5
2	R < 5% ou 5 < R > 25	15,0
1	R < 1% ou 1 < R > 5%	3,0
+	R < 1%	0,5
r	rare	0,1

Les indices de Shannon sont calculés pour chaque parcelle élémentaire. Ces indices sont calculés sur R (voir annexes page 53).

Enfin, le milieu, au-delà des haies et bordant le verger étudié, a été caractérisé. Il s'agissait de décrire le type de culture (maraîchère ou verger), ainsi que la présence de route, d'habitation et/ou d'élevage. 5 classes ont donc été identifiées :

- route/piste,
- élevage/brousse,
- habitations/village,
- vergers,
- maraîchage.

6.5) méthodes d'observation des mouches du fruit.

Le suivi des populations de *B. invadens* est effectué avec la méthode de piégeage sexuel. Ce piège est composé d'un attractif sexuel (méthyl-eugénol) et d'un insecticide (dichlorvos) : ce dispositif cible les mâles de *B. invadens*.

Deux ou trois pièges à méthyl-eugénol sont disposés par parcelle élémentaire (selon un critère de taille).

Les fluctuations des densités de populations de *C. cosyra* sont, quant à elles, observées avec l'utilisation d'un attractif sexuel de synthèse, le terpinyl-acétate, qui permet d'attirer les mâles de cette espèce et également associé au dichlorvos (Quilici, Duyck, Rousse, Gourdon, Simiand, & Franck, 2005).

Les pièges sont protégés des fourmis, qui viennent récolter les mouches capturées et tuées, par une abondante graisse étalée sur le haut du piège.

Ces méthodes de piégeage n'ont pas d'impact sur les densités de population de ces ravageurs. Il ne permet que de capturer les mâles de l'espèce. C'est un moyen de contrôle des niveaux d'infestation dans les vergers, et de suivi des variations de densité de population.

Ces pièges sont disposés dans des vergers dont le choix a été expliqué plus haut. Les relevés des pièges sont réalisés toutes les semaines ; les mouches ainsi collectées sont conditionnées dans des sacs plastiques où sont précisés les numéros d'identification du piège, la date et le verger concerné.

Les mouches ainsi récoltées sont ensuite identifiées et comptées avant d'être inscrites dans un fichier recensant les résultats de captures pour chaque verger à des fins de suivis annuels de variations de captures.

Deux périodes de l'année se différencient : d'avril à mi-mai, les effectifs capturés sont très faibles ou inexistant. De mi-mai à mi-juillet, les individus capturés se font de plus en plus nombreux, l'hivernage étant la phase de pullulation, déclenchée par la première pluie. Deux indicateurs sont retenus, le premier est le nombre moyen de mouches (pour chacune des espèces) capturés par jour et par pièges, sur la période du 26 avril au 15 mai 2010 et sur la période du 22 mai au 17 juillet 2010. L'indicateur le plus utilisé est celui basé sur l'effectif capturé par jour et par piège pour *Bactrocera invadens* pendant la deuxième période.

Des pièges supplémentaires sont ajoutés dès le mois d'avril afin de révéler des variations géographiques de densités de population de mouches. Le mois d'avril correspondant à une période qui précède le pic d'émergence des populations d'adulte, cela permet de visualiser les émergences.

6.6) Etude statistique.

Le but de la recherche scientifique est soit d'estimer un paramètre d'intérêt, soit d'utiliser une procédure expérimentale pour évaluer une hypothèse à propos du paramètre. Ici, des hypothèses de corrélations entre densité de mouches avec les pratiques agricoles vont être testées (Ricklefs, 2005). Après analyse des résultats des données « enquêtes », le choix des variables présentant de grandes variations entre elles seront utilisés. Celles qui sont très similaires entre vergers, tels que la nature du sol, données géographiques etc. Ne sont pas prises en compte dans l'analyse statistique.

Les tests statistiques vont porter sur la description des vergers : structure et fonctionnement, la description des haies entourant chaque verger et plus précisément leur diversité spécifique ; et les variations de populations de mouches capturées dans les

vergers. Pour chacune de ces descriptions, des tendances suivant les trois zones géographiques d'observations seront analysées. Les interrelations entre les variables diversité et les populations de mouches de fruit seront aussi analysées avec des tests statistiques.

Les données sont entrées sur le tableur Excel puis les analyses sont faites avec le logiciel R. Les tests statistiques qui ont été utilisés sont :

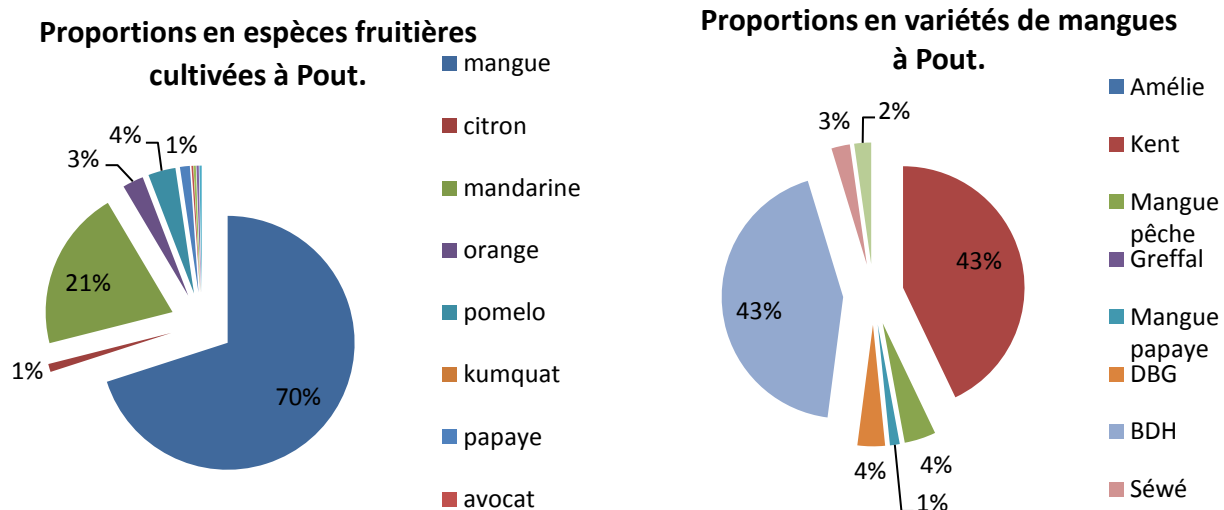
- ✓ test chi 2 et test exact de Fisher pour les tableaux de contingence (2 variables qualitatives) ;
- ✓ anova et Kruskal-Wallis pour tester l'effet d'un facteur sur une variable quantitative, et quand l'effet est significatif, test de comparaison des moyennes.
- ✓ Test de comparaison multiple, pour tester si les distributions sont identiques.

Résultats et discussion

VII. Résultats.

7.1) Description de la structure des vergers.

La création d'un verger, doit respecter plusieurs règles élémentaires qui vont conditionner la structure du verger et qui dépendent, notamment, de l'espèce cultivée et de la zone climatique. La structure du verger se définit par ses densités de plantation, ses proportions en espèces et en variétés, ses effectifs et le développement de sa strate arborescente. Le choix des trois zones avait visé à rechercher une variabilité entre les systèmes de production de mangues (Cf. Figure 11). Il s'agit de vérifier si cette hypothèse est confirmée dans la structure des vergers.



Sébikhotane est une zone de production pour le marché local ou la diversité cultivée permet d'étaler les revenus dans l'année et de se protéger des accidents de production. Elle présente 33% de mangues, 31% de pomelo et 17% d'orange. Bien que Pout soit également une zone de production destinée au marché local, les proportions en espèces fruitières cultivées varient puis que l'on n'observe plus que 70% de mangues et 21% de mandarines. Noto, zone de production de mangues pour l'export, présente 72% de mangues et 19% de mandarines.

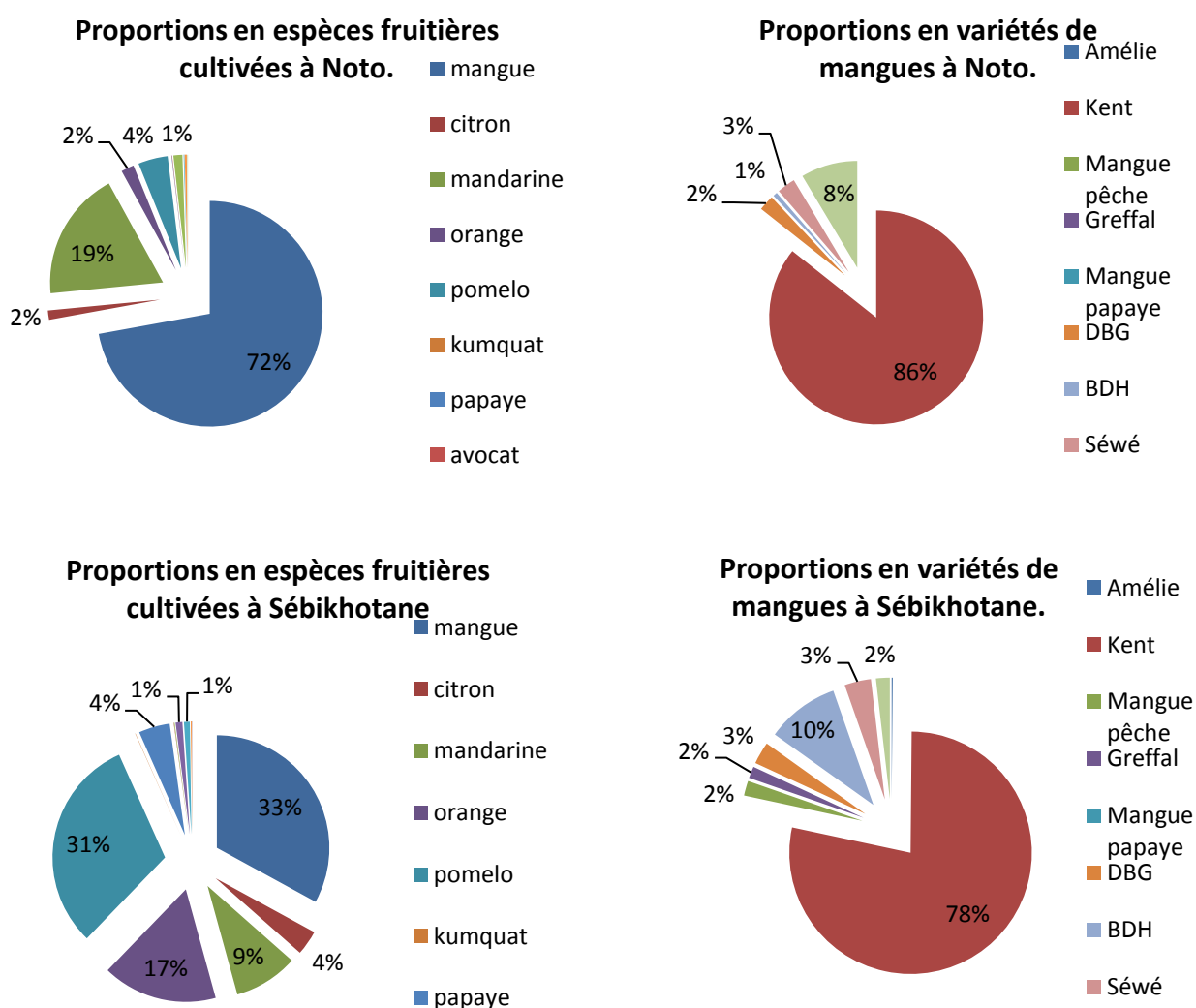


Figure 10: Proportions en espèces fruitières cultivées et en variétés de mangues dans les vergers de Pout, Sébikhotane et Noto.

Les proportions en variétés de mangues varient également d'une région à l'autre : à Pout, les variétés Kent et Boucodiekhale sont présentes à 43%, tandis que Boucodiekhale disparaît face aux proportions de Kent présente à 78% à Sébikhotane et 86% à Noto. Noto est une zone de production tournée vers le commerce d'export, où la variété Kent est

préférentiellement cultivée, non seulement pour ses qualités gustatives mais aussi pour sa résistance lors du transport.

Tableau 6: Effectifs relatifs observés en mangues (Nmangue), agrumes (Nagrume) et autres espèces fruitières (Nautre) dans les vergers des 3 zones.

	Nmangue	Nagrume	Nautre	total
KA	694	1376 62%	141	2211
NOTO	1406	506 26%	36	1948
POUT	604	232 26%	34	870

Test de Khi 2, établi sur l'hypothèse d'indépendance entre les 3 zones révèle, sur R, une valeur p-value $< 2.2 \times 10^{-16}$ (d'où p-value $< 5\%$).

Donc, les répartitions des effectifs en manguiers, agrumes et autre espèces fruitières sont significativement différentes.

Les vergers de Sébikhotane ont plus d'agrumes (62%) que ceux de Noto (26%) et de Pout (26%) puisque les effectifs observés sont de 1376 contre 506 et 232 pour Noto et Pout. Cependant, les effectifs de manguiers mesurés sur la zone de Noto sont les plus importants puisqu'ils sont de l'ordre de 1406 contre 694 à Sébikhotane et 604 à Pout. Enfin les effectifs des autres espèces fruitières sont les plus importants à Sébikhotane avec 141 pieds contre 94 à Pout et 41 à Noto.

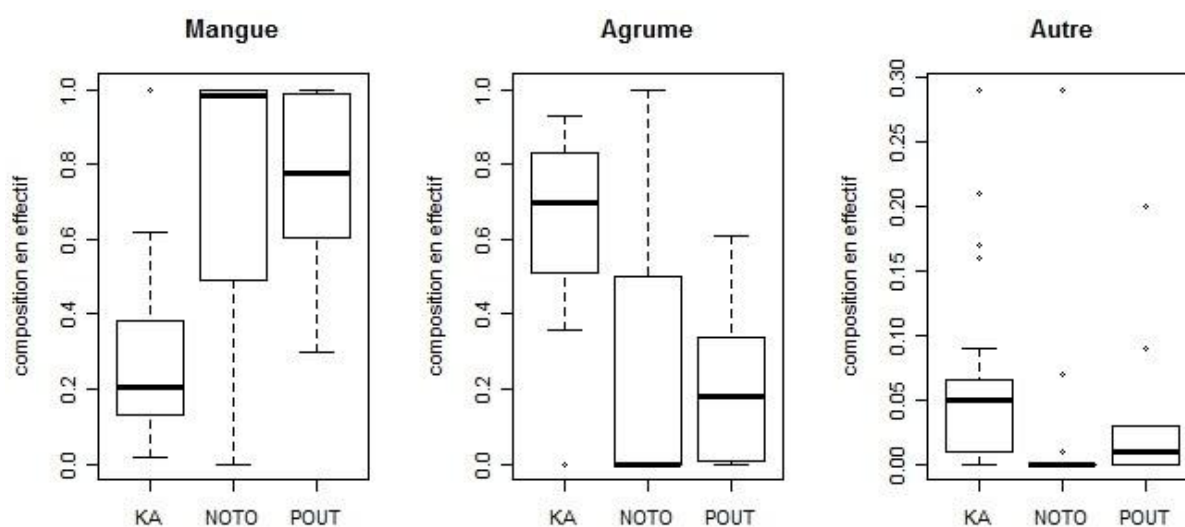


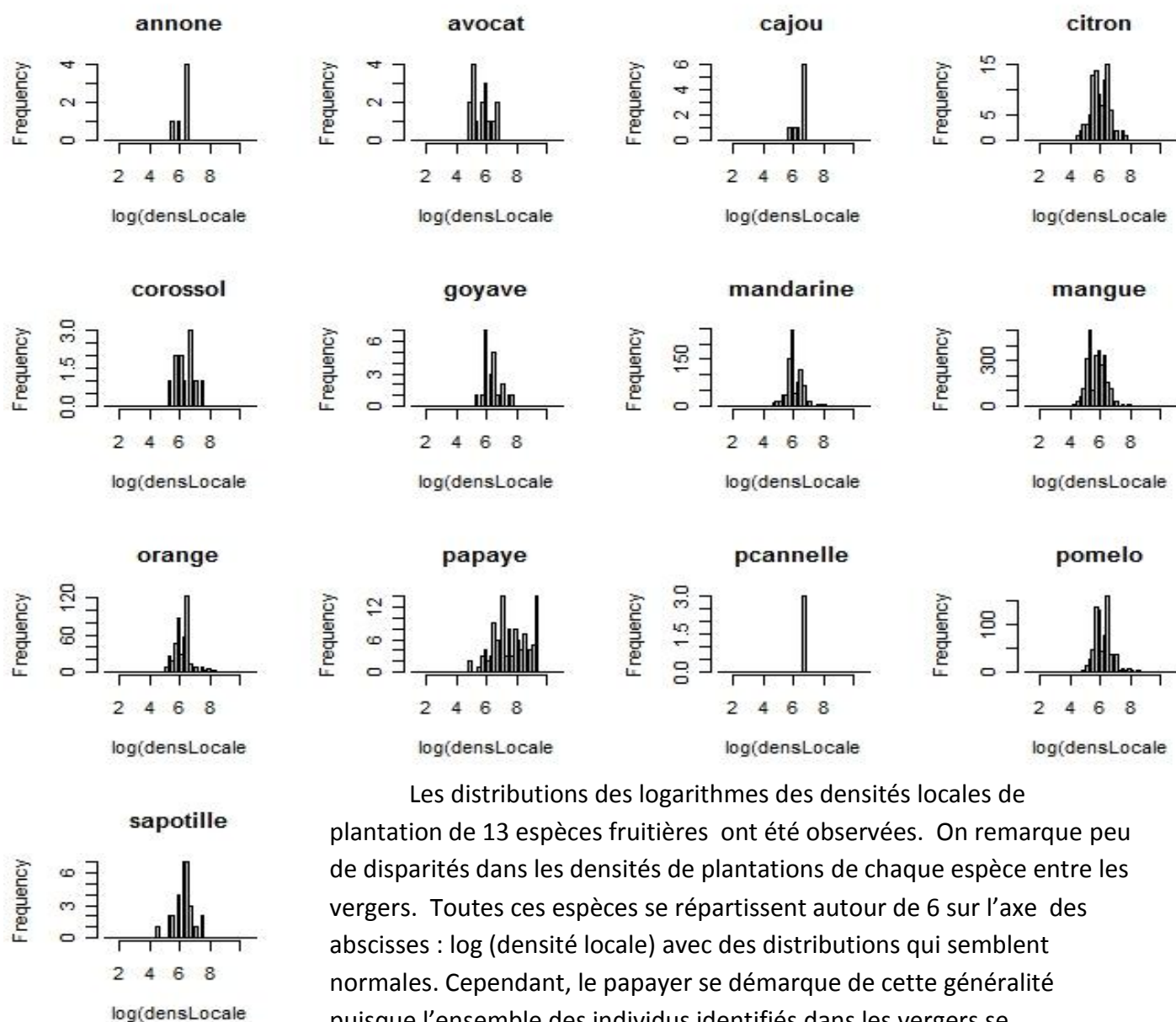
Figure 11: Représentation graphique des proportions en mangue, agrumes et autres arbres fruitiers dans les 3 zones.

Les manguiers sont plus présents à Noto (72%) et Pout (69%) qu'à Sébikhotane (31%). Les agrumes, toutes espèces confondues, sont les plus fréquents à Sébikhotane (62%).

D'après la figure 12 et les données enquêtes de terrain, parmi ces 3 zones, ont donc pu être distingués, 3 grands types de vergers :

- ✓ Monocultureaux de mangues.
- ✓ Monocultureaux d'agrumes.
- ✓ Mixtes.

Les densités de plantations, appelée densité locale (Cf. Figure 13) obtenues avec les distances de plantations des arbres sur le rang et inter-rang, varient beaucoup d'une espèce à l'autre. Cette distance de plantation est fonction de l'espèce fruitière plantée et de la prise en compte du futur port de l'arbre et des caractéristiques du verger (verger d'export et verger mixte...).



Les distributions des logarithmes des densités locales de plantation de 13 espèces fruitières ont été observées. On remarque peu de disparités dans les densités de plantations de chaque espèce entre les vergers. Toutes ces espèces se répartissent autour de 6 sur l'axe des abscisses : $\log(\text{densité locale})$ avec des distributions qui semblent normales. Cependant, le papayer se démarque de cette généralité puisque l'ensemble des individus identifiés dans les vergers se répartissent inégalement autour de 7,5.

Figure 12: Densités locales de plantations parmi 13 espèces fruitières cultivées.

7.2) La diversité fruitière cultivée.

La comparaison de peuplements dont la richesse spécifique diffère, n'est pas possible sur la base seule du calcul de l'indice de Shannon. En effet, l'indice de Shannon n'est recommandé que pour comparer des milieux qui possèdent les mêmes espèces et qui ne

diffèrent alors plus qu'en termes de proportions de chacune d'elle. On utilise alors un indice de régularité, dit aussi indice d'équitabilité (réseau ROSELT et OSS avec la collaboration de l'USTHB, avril 2008), afin de permettre une bonne estimation de la biodiversité cultivée, les indices de Shannon ont été recalculés avec l'indice d'équitabilité : $J' = H' / \log S$

Avec : H' l'indice de Shannon et S le nombre d'espèces total.

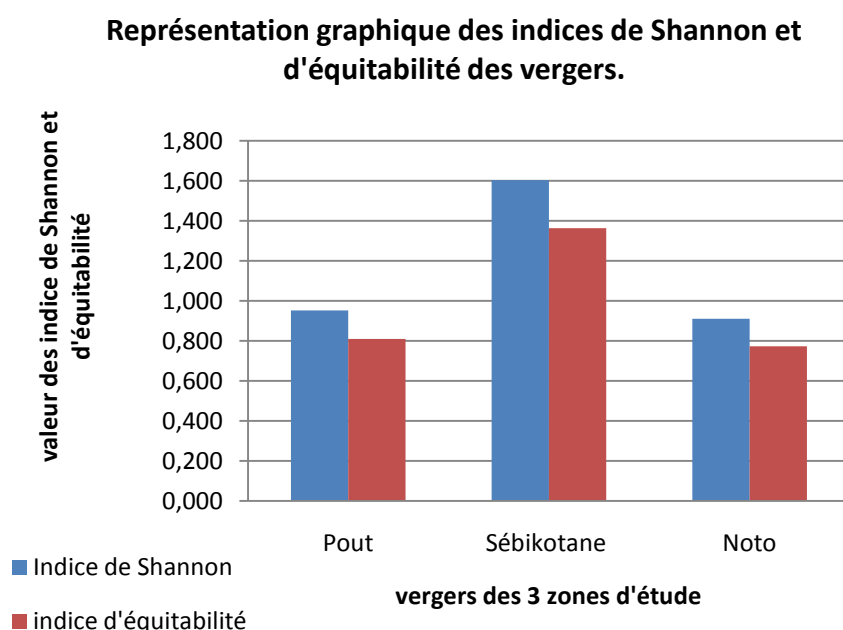
Tableau 7: Mesures de la biodiversité cultivée obtenue avec les indices de Shannon et d'équitabilité pour les régions de Pout, Sébikhotane et Noto.

	Indice de Shannon	Indice d'équitabilité
Sébikhotane	1,604	1,364
Noto	0,910	0,773
Pout	0,952	0,809

15 espèces fruitières cultivées ont été dénombrées (liste disponible en annexes, Tableau 26).

Pour chaque zone, les moyennes des indices de Shannon et d'équitabilité des vergers ont été calculés.

Figure 13: Graphique des indices de biodiversité fruitière cultivée pour les vergers de Pout, Sébikhotane et Noto.



Les valeurs des indices d'équitabilité révèlent que Sébikhotane est la zone où la biodiversité cultivée dans les vergers est la plus grande ($J'=1.364$). Les régions de Noto et Pout, possèdent un indice d'équitabilité, inférieur à celui de Sébikhotane et non significativement différent. Il possède cependant, une valeur assez élevée ($J'=0.773$ et $J'=0.809$ respectivement).

Tableau 8: Effectif en mangues (Nmangue), agrumes (Nagrume) et autres arbres fruitiers (Nautre) et test de Khi² des proportions dans les vergers des 3 zones.

	Nmangue	Nagrume	Nautre
KA	694	1376	141
Noto	1406	506	36
Pout	604	232	34

Le test statistique de Test Khi 2 à été calculé sur R sous l'hypothèse de la similarité de ces résultats entre les 3 zones. Il révèle une valeur de p-value < 2.2 e-16 (donc p-value < 5%).

Ces résultats, d'estimation de la biodiversité cultivée, sont donc significativement différents entre les 3 zones.

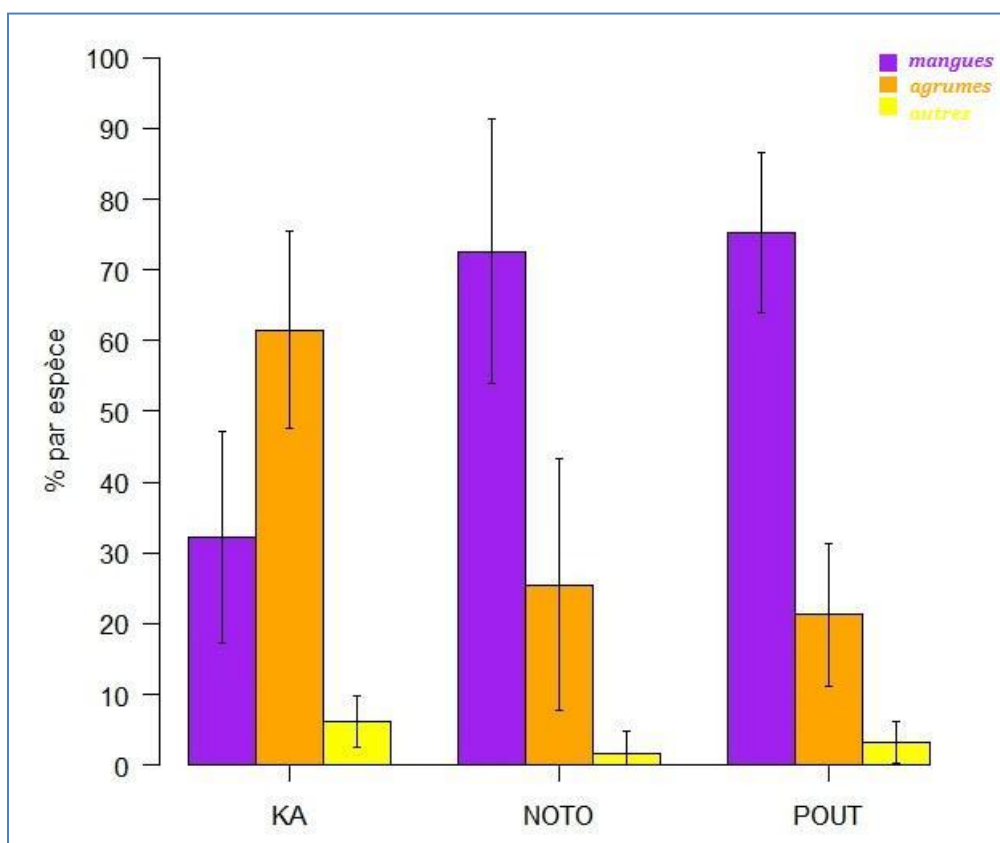


Figure 14: Représentations graphique des proportions de mangues, agrumes et autres arbres fruitiers dans les vergers des 3 zones.

La biodiversité cultivée ne présente pas de corrélation statistiquement significative, avec les populations de ravageurs. Il n'en est pourtant rien lorsque l'étude se porte sur le détail des espèces cultivées.

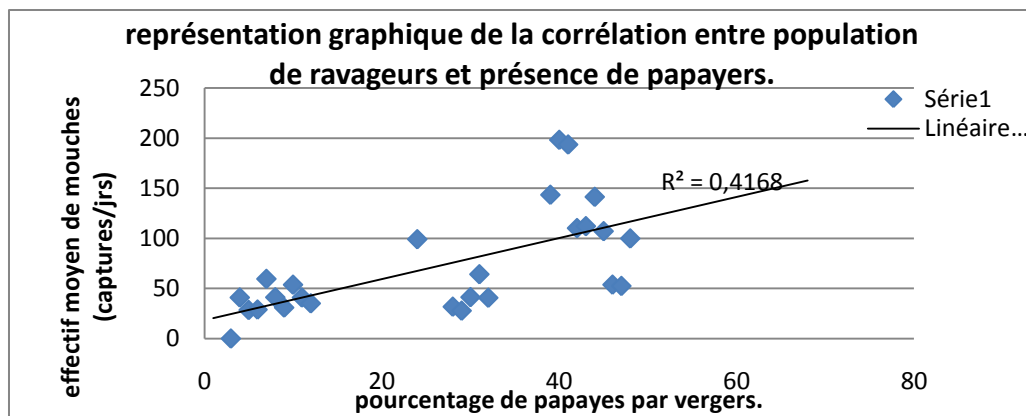


Figure 15: Corrélation entre présence de papayes et populations de ravageurs.

Cependant, une corrélation positive entre proportion de papayers dans les vergers et les populations de mouches des fruits est observée, avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,42$.

7.3) Conséquence des pratiques agricoles sur les populations de mouches du fruit.

Les résultats des enquêtes sur les pratiques agricoles ont fait l'objet d'une transcription en indices qualitatifs (0, 1 et 2) qui ont remplacé les données initiales semi-quantitatives des principales variables. Les principales variables ainsi notées sont les apports d'engrais, l'irrigation, les pesticides, les apports de fumier, le pâturage dans le verger, les autres cultures dans le verger, l'entretien du sol (labour superficiel et desherbage) et la récolte sanitaire (ramassage des fruits tombés à terre). Parmi le grand nombre de variables inscrites sur le fichier enquête (voir annexes, Tableau 18), certaines ont été choisies comme ayant plus d'effets sur les dynamiques de populations de ravageurs, d'après les hypothèses élaborées au départ et présentant une grande variabilité entre exploitations. Le traitement de ces résultats a permis de mettre en valeur des liens entre certaines de ces pratiques agricoles et les variations de densité de populations de mouches du fruit.

Tableau 9: Valeurs des p-value de l'anova, en réponse à l'hypothèse de non corrélation

pratique agricole	p-value
engrais	0.0035
irrigation	0.0448
pesticide	0.0458
fumier	0.0517
pâturage	0.0553
autre culture.	0.0661
entretien sol	0.3779
récolte sanitaire.	0.5634

Les corrélations possibles entre les pratiques agricoles et les densités de population du ravageur ont été étudiées. Les résultats figurent sur le Tableau 10. On rappelle que l'indicateur de la population du ravageur est le nombre moyen de *B. invadens* capturés par jour entre mi-mai et mi-juillet.

Les valeurs des p-value ont été obtenus par une anova. Lorsque la valeur de p-value $< 5\%$, une corrélation avec les densités de populations de *B. invadens* existe. Les pratiques agricoles concernées ont été inscrite en gras (engrais, irrigation et pesticide).

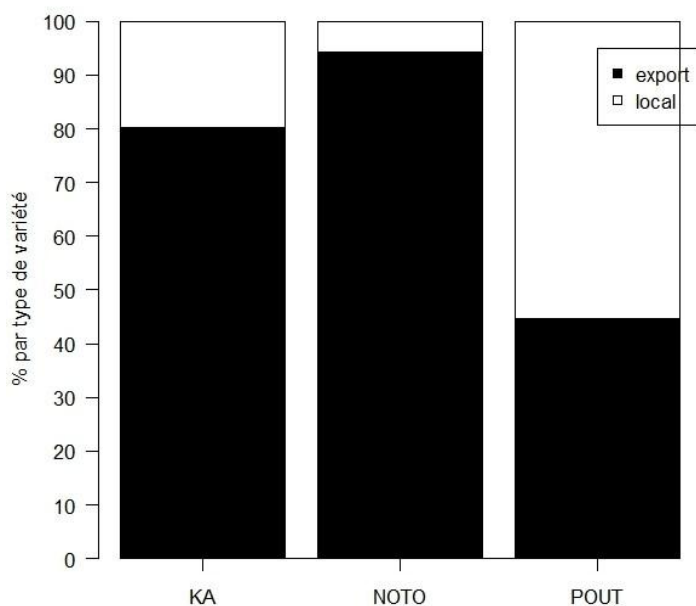


Figure 16: Proportions en variétés de mangues destinées à l'export et celles destinées au marché local.

Les rapports entre les variétés de mangues ont aussi été étudiés et des comparaisons entre variétés d'export (Kent et Keit) et locales (Cf. Figure 17).

Tableau 10: test de χ^2 des effectifs de mangue d'export (NmangueEx) et des variétés destinées au marché local (NmangueLoc).

	(NmangueEx)	(NmangueLoc)
KA	557	137
NOTO	1325	81
POUT	270	334

test χ^2 Pearson	$\chi^2 = 638.4029$	df=2	p-value < 2.2 e-16
-----------------------	---------------------	------	--------------------

Les proportions en espèces destinées au marché local et celles destinées à l'export sont significativement différentes entre les 3 zones d'exploitation (d'après les résultats du test de χ^2 de Pearson).

7.4) Diversité des haies encadrant les vergers et environnement direct.

Dans un premier temps, la diversité des haies bordant les vergers dans les 4 directions, a été étudiée. La liste des espèces identifiées sur-place a été traitée dans un fichier Excel. Les coefficients d'abondance-dominance ont été convertis selon la méthode décrite plus haut. Les résultats obtenus ont ensuite permis d'élaborer un graphique où les indices de Shannon obtenus ont pu être comparés entre les vergers et entre les zones d'étude. On obtient alors un graphique global, représentant les fluctuations des indices de Shannon dans les 3 zones (Cf. Figure 19) :

Au total, 32 espèces ont été répertoriées dans les haies. Ici 16 espèces ont été identifiées à Pout, contre 29 à Sébikhotane et 24 à Noto.

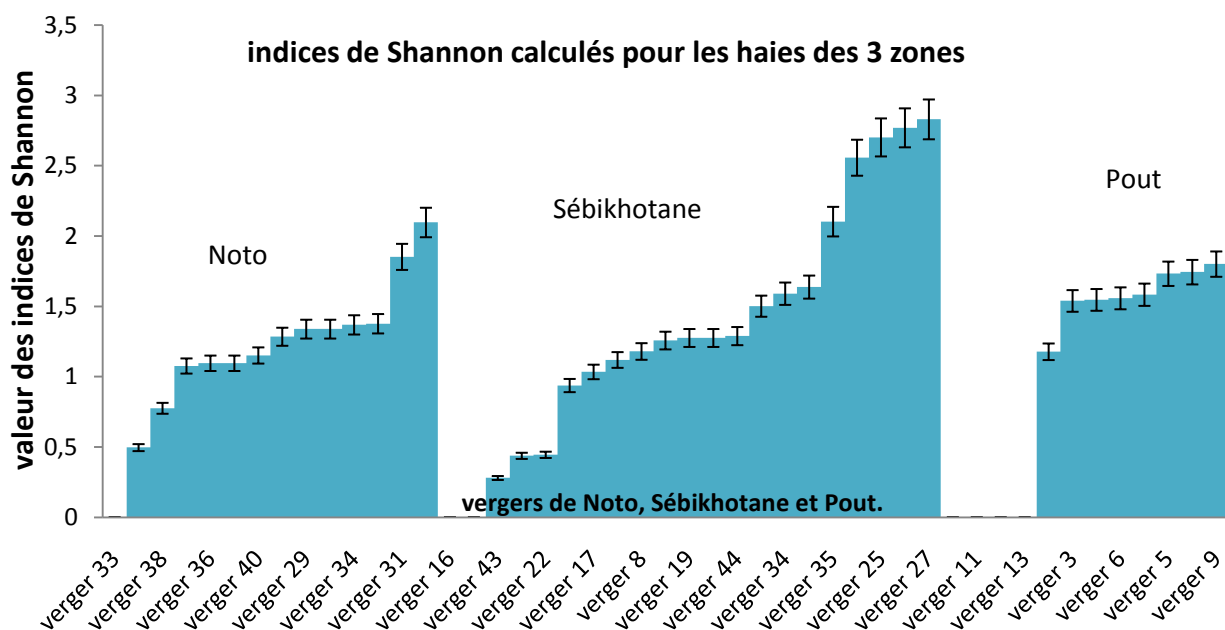


Figure 17: Variations des indices de Shannon calculée pour la diversité des haies des vergers dans les 3 zones d'études

Les distributions des indices de Shannon ainsi calculées, montrent que les haies bordant les vergers des zones de Pout et Noto sont plus homogènes que celles de Sébikhotane.

Tableau 11: Résumé statistique et analyse des variances du calcul des indices de Shannon (IndicSha) pour Pout, Sébikhotane (KA) et Noto.

	Min	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max	EcartT	CoefVar
IndicSha Pout	0	0	1.543	1.057	1.621	1.801	0.795	0.752
IndicSha KA	0	0.938	1.276	1.344	1.638	2.831	0.867	0.645
IndicSha Noto	0	1.002	1.124	1.074	1.339	1.853	0.473	0.440

analyse des variances (test ANOVA)					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
zone	2	0.872	0.436	0.748	0.479
Residuals	42	243.476	0.587		

Pr (>F) >5% donc il n'y a pas de différences significatives entre les zones.

Les indices de biodiversité ainsi calculés entre les 3 zones d'études ont révélé qu'il n'y a pas de différences significatives entre chaque verger ni entre chaque zone (Cf. Tableau 11). Cependant, il reste intéressant d'étudier les corrélations entre la biodiversité des haies et les populations de ces ravageurs.

Le coefficient de détermination (R^2) a donc été calculé :

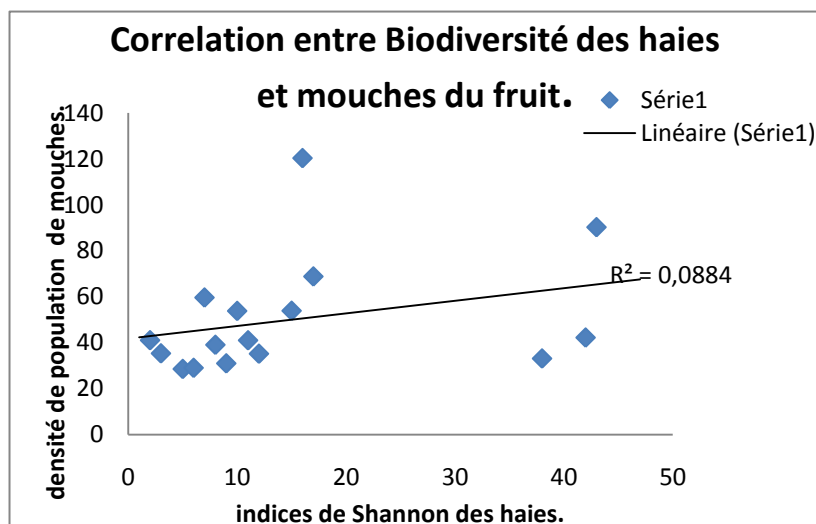


Figure 18: Calcul du coefficient de corrélation R^2 et représentation graphique du lien entre biodiversité des haies et densité de population de mouches du fruit.

La valeur faible de R^2 (Cf. Figure 20) montre que la diversité des espèces végétales composant les haies n'a pas d'effet direct sur les dynamiques de population de ces bio-agresseurs.

Dans un second temps, l'environnement autour des vergers dans les quatre directions (Nord, Sud, Est, Ouest) à été pris en compte et a été mesuré en pourcentage d'occupation du terrain autour de la parcelle élémentaire. Il a été identifié puis classé dans 5 grands types de milieux : piste ou route ; élevage ou pâture ; maraîchage ; habitation ou village ; vergers.

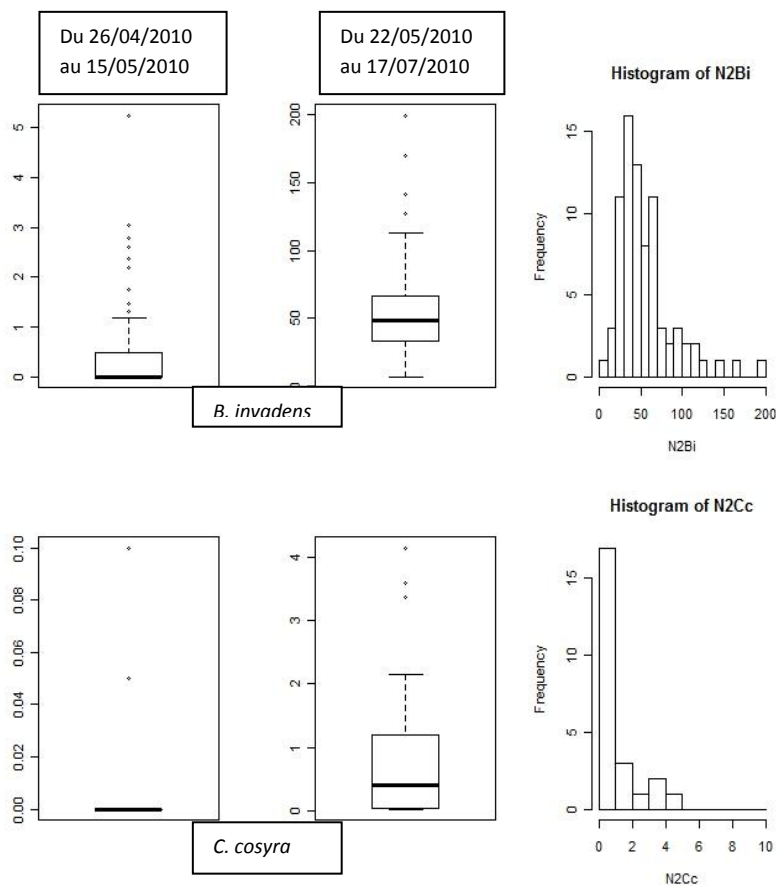
Tableau 12: Coefficient de détermination de l'environnement encadrant la parcelle élémentaire sur les densités de ravageurs

environnement autour	coefficient de détermination R^2
piste/route	0,2247
élevage / pâture	0,1071
maraîchage	0,1041
vergers	0,0375
habitation/village	0,0208

Cependant, aucun de ces milieux ne semble avoir d'effet sur les populations de ravageurs (d'après le calcul du coefficient de détermination R^2) (Cf. Tableau 12).

7.5) Populations des mouches du fruit ; comparaison des dynamiques des deux espèces.

Les de populations de *B. invadens* et de *C. cosyra* varient beaucoup d'une espèce à l'autre (Cf. Figure 21). Le comptage des mouches collectées, nous rapportent que ces espèces ne sont pas présentes dans les mêmes proportions dans les vergers sénégalais.



Les populations de *B. invadens* sont plus grandes que celles de *C. cosyra*. Cette différence s'observe quelle que soit la période de l'année.

Figure 19: Variations des effectifs de population des 2 espèces de ravageurs : *Bactrocera invadens* (Bi) et *Ceratitis cosyra* (Cc), du 22 mai au 17 juillet 2010 (N2).

Les variations du nombre de captures par jours, pour le piège n°6 du verger 32 C à Noto, étudiées sur une longue période de l'année, a permis de mettre en évidence le phénomène d'émergence sur la courbe de croissance de population obtenue (Cf. Figure 22 et 23).

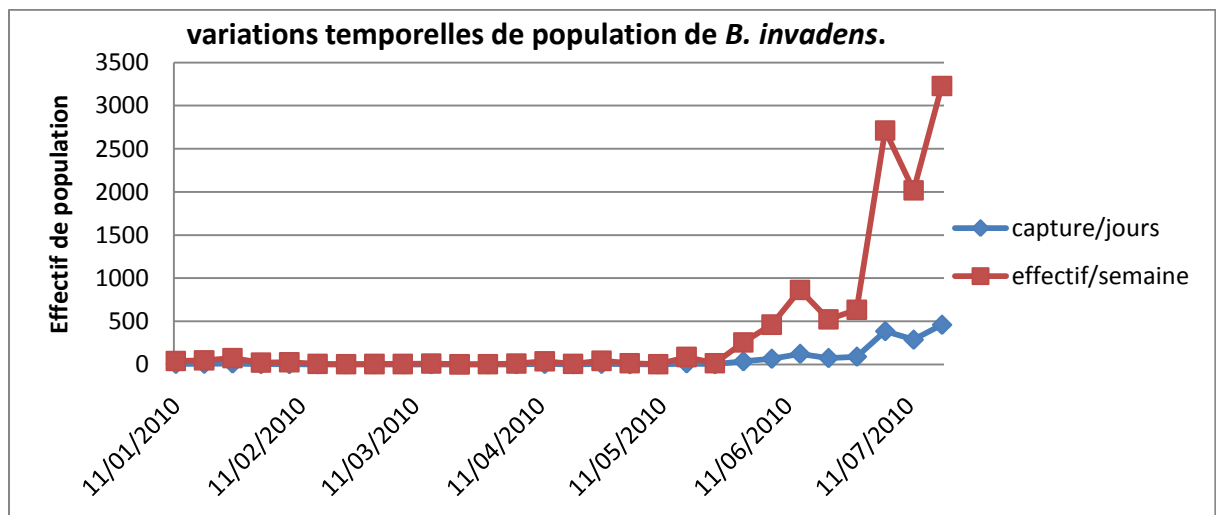


Figure 20: Courbe de croissance de la population de *B. invadens*.

Les courbes de croissance des populations ont pu être réalisées pour les deux espèces de mouches du fruit.

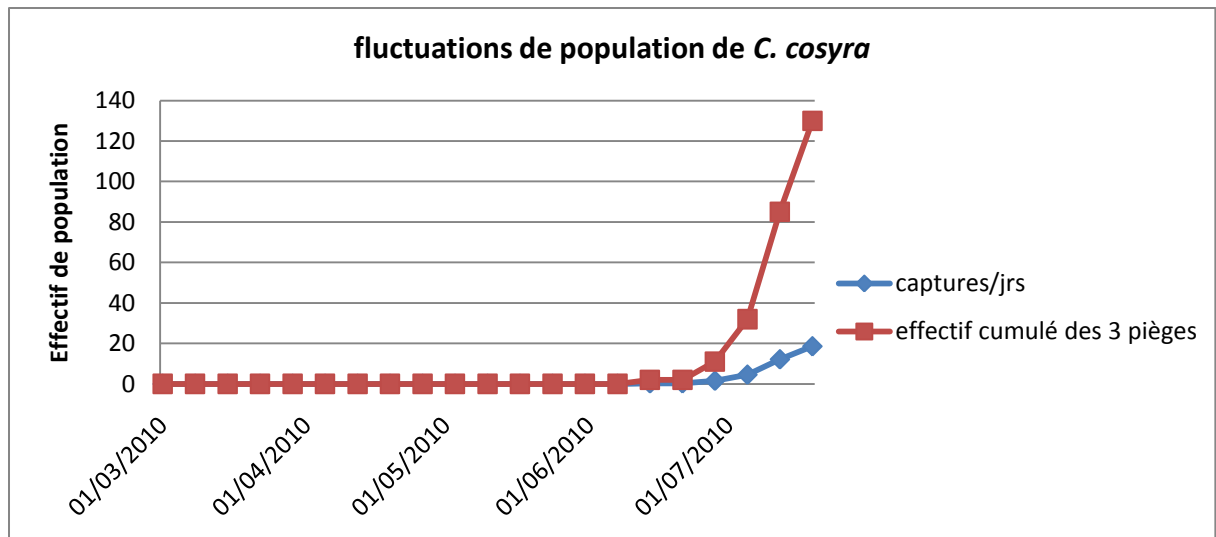


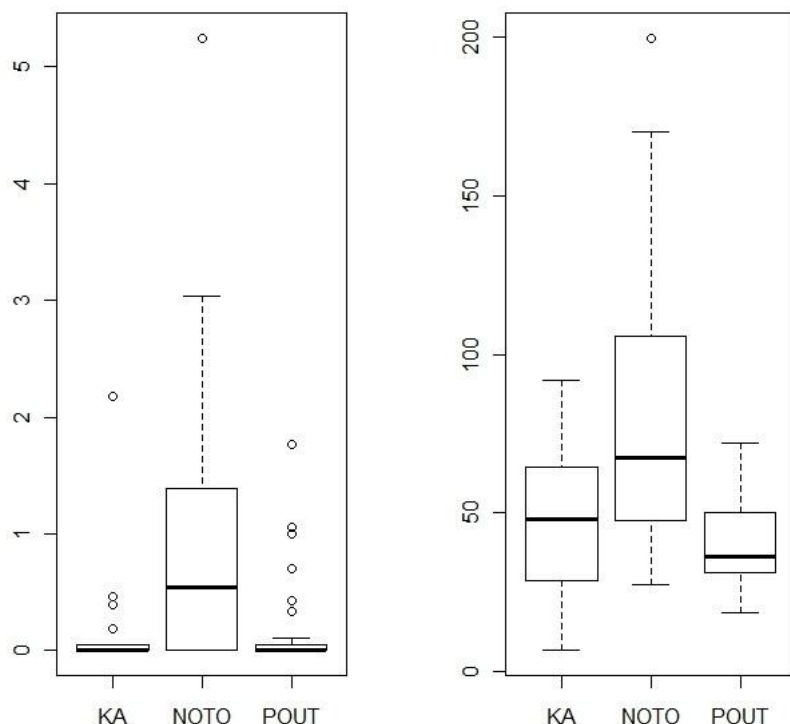
Figure 21: Courbe de croissance de la population de *C. cosyra*.

Les variations de populations de *C. cosyra* pendant les mois de l'étude révèlent une courbe de même allure que *B. invadens*. L'apparition des premières *C. cosyra* semble avoir un décalage temporel avec l'apparition des *B. invadens*. En effet, l'émergence de ces premiers individus ne se fait qu'au 26 juin tandis que l'émergence de *B. invadens* est déjà visible au 13 mai.

Tableau 13: Résumé statistique des densités de populations de *B. invadens* et *C. cosyra*.

	Min	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max
<i>B. invadens</i>	6.8	33.52	47.92	55.8	66.38	199.7
<i>C. cosyra</i>	0.03	0.05	0.4	0.9025	1.15	4.14
B.i / Cc	Min	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max
26/04 au 15/05	33.33	100	100	90.91	100	100
22/05 au 17/07	88.67	97.5	99.68	97.55	99.93	99.97

Le test statistique de Fisher, appliqué à ces résultats statistiques (Cf. Tableau 13), a révélé que *B. invadens* (Bi) est largement prédominant sur *C. cosyra* (Cc), pour les 2 périodes de temps avec un taux 88% à 100% supérieur aux densités de populations de *C. cosyra*. (p-value= 0.001255 < 5%).



Les proportions de ces deux espèces sont très inégales pendant la période de pullulation. Les effectifs de *B. invadens* sont supérieurs aux effectifs de *C. cosyra*.

Figure 22: Densités de population de *B. invadens*, à 2 périodes de l'année ; pour les 3 zones.

La Figure 26 présente les densités de populations de *B. invadens* pour les 3 régions étudiées sur une période qui précède l'émergence (à gauche) et sur une deuxième période dès les apparitions des premiers individus (à droite).

La première période, s'étalant du 26 avril au 15 mai, qui précède l'émergence, montre que Noto est une zone qui possède déjà un plus grand nombre de captures par jour, que les autres régions.

Dans la seconde moitié de l'étude, qui s'étend du 22 mai au 17 juillet, le nombre de captures par jour a augmenté, Noto, étant toujours une zone où l'on capture le plus grand nombre d'individus.

Tableau 14: Résumé statistique et test Anova des populations par zone en nombre moyen de *B. invadens* capturés par jour entre le 22/05 et le 17/07.

<i>B. invadens</i>	Min	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max	Ecart-T	Cv
POUT	18,63	31,15	36,29	40,9	50,3	72,22	13,6	0,3
KA	6,8	28,96	48,09	49,0	64,3	91,68	26,0	0,5
NOTO	27.65	47,62	67,41	79,3	105,6	199,7	43,3	0,5
<i>ANOVA</i>	Df	Sum Sq	Mean Sq	f-value	Pr (>F)			
zone	2	23387	11693,7	13,475	3,795 e-16			
residual	76	65951	867,8					

Le test de comparaison multiple a permis de montrer les différences de captures de *B. invadens* (Bi) entre les 3 zones : Pout, Sébikhotane (KA) et Noto.

Tableau 15: Résultats statistiques du test de comparaison multiple.

Bi	obs. dif	critical. Dif	differences
KA-NOTO	18.025	17.010	TRUE
KA-POUT	6.868	16.241	FALSE
NOTO-POUT	24.893	14.072	TRUE

Les résultats de ce test (Cf. Tableau 15) ont permis de montrer qu'à Noto les pièges capturent significativement plus de mouches que dans les autres régions (non significativement différentes entre elles) quelle que soit la période de l'année.

VIII. Discussion

8.1) description de la structure du verger.

Les vergers sénégalais de ces 3 régions se distinguent entre eux par la diversité d'espèces cultivées. Tandis que les vergers de Noto, sont monocultureux pour la majorité, ceux de Sébikhotane et de Pout, sont en général mixtes. Les proportions en variétés de mangues cultivées isolent encore une fois Noto des autres zones, puisque l'on y cultive,

préférentiellement, des variétés destinées à l'exportation (variétés Kent et Keit) ; Noto étant un grand bassin d'exploitation pour l'export (J.Y Rey, 2007).

Les richesses spécifiques cultivées varient également d'une zone à l'autre. Noto a la richesse spécifique la plus basse ; Pout, a une richesse spécifique intermédiaire avec Sébikhotane où la richesse spécifique cultivée est maximale. Les différences observées ici sont dues à la caractéristique des vergers de Noto en tant que grand bassin d'exportation, tenu de respecter un cahier des charges précis qui ne laisse pas de place à la mixité des vergers puisqu'il exige une spécificité des produits d'export. (Comité Technique Manguerie Sénégal, PPEA, 2002)

Les densités de plantations des variétés varient beaucoup avec la destination de la production : les vergers monoculturels de la région de Noto, sont plus élevées de celles de Pout et de Sébikhotane, où l'on retrouve un grand nombre d'espèces dans le verger, et dont les récoltes sont destinées au marché local. La grande mixité du verger induit des variations importantes de valeur de densité de plantation puisque les arbres fruitiers tels que les papayers sont plantés à des distances sur-le-rang et inter-rang, proches de celles du mètre (de 0.1m à 1.5m). Les différentes espèces fruitières, ne sont pas plantées aux mêmes intervalles, en fonction des connaissances sur leur développement à l'âge adulte ainsi qu'en conséquences aux différents remplacements d'arbres morts dans le verger.

Ces résultats confirment les différences générales observées sur les cultures fruitières export vs. marché local (J-Y Rey, communication personnelle).

8.2) Diversité fruitière cultivée.

La biodiversité cultivée apparaît clairement différer d'une zone à l'autre. Les proportions en espèces dans les vergers sont hétérogènes et les systèmes d'exploitation sénégalais sont plutôt orientés sur la polyculture que sur les grands systèmes monoculturels retrouvés en Europe. Toutefois, cette diversité retrouvée dans les vergers a montré peu d'influence sur les populations de ravageurs. On a seulement montré qu'une plus grande proportion en papayers apparaît être comme un facteur d'attraction des mouches du fruit. Le papayer a d'ailleurs été cité comme une plante-hôte préférentielle de *B. invadens* (F-X. ndzana Abanda, 2009). Nous n'avons pas pu mettre en évidence une corrélation de mouches de fruit avec la présence d'une autre espèce fruitière.

Les espèces des vergers sénégalais sont exclusivement pérennes. Cette dernière particularité interdit une rotation des espèces, pour limiter l'impact des bio-agresseurs basée, par exemple, par le retrait de plantes-hôtes. En effet, les conditions d'habitats et le niveau des ressources conditionnent la présence et le développement des espèces animales (S. Simon, 2009). Faire varier ces paramètres de conditions d'habitat, par des pratiques agricoles adaptées peut permettre, par exemple, de favoriser le développement de certains

auxiliaires et donc d'être un moyen de contrôle des ravageurs. Des possibilités de manipuler l'habitat de ces ravageurs existent. Elles peuvent aussi, être réalisables sur la conduite architecturale de l'arbre (arbres « aérés » par une taille adaptée...) ainsi que sur l'environnement autour des arbres (microclimat sous frondaison, haies, diversité cultivée...) (S. Simon, 2009).

8.3) Densité de populations de mouches du fruit.

Lors de la période d'étude, les fluctuations de populations de *B. invadens* ont pu être analysées. Les variations de nombre de captures par jours sur la période étudiée, permettent de révéler l'émergence des premiers individus, et la phase d'accélération sur la courbe de croissance de la population. On distingue donc deux phases dans les fluctuations de densité de population : l'attente (de janvier à mi-mai) où les mouches sont absentes des relevés et l'émergence c'est-à-dire l'apparition des premiers individus (mi-mai) qui précède la phase d'accélération de la croissance de la population (de juin à mi-juillet, au moins) (Cf. Figure 22 et 23). Le découpage de la courbe de croissance des populations a permis de créer deux indicateurs de populations de mouches. Celui qui a semblé le plus pertinent est celui correspondant à la phase d'accélération sur la courbe de croissance, en deuxième période.

En termes d'effectifs, les populations de *C. cosyra* sont bien moindres que celles de *B. invadens*. La dynamique d'émergence, qui précède la pullulation reste basée sur le même facteur déclenchant : l'hivernage et les premières pluies apparues en juin. Cette espèce apparaît cependant bien inférieure, en termes d'effectifs, devant la population de *B. invadens*, 88 à 100 fois supérieure à celle de *C. cosyra* (Cf. Figure 22), bien que *C. cosyra* soit endémique d'Afrique. Ces observations confirment le caractère invasif de *B. invadens*.

Enfin, des différences importantes des populations ont été observées entre les zones. Nous avons tenté de les expliquer par des différences de pratiques agricoles.

8.4) Impact des pratiques agricoles.

L'agriculture est l'ensemble des travaux qui permettent la production notamment de végétaux (Dr Haougui Adamou) (H. Vannière, 2004). On remarque des différences entre ces pratiques selon les zones de Pout, Sébikhotane et Noto. Ces différences portent sur les proportions en espèces, les proportions en variétés, l'irrigation, les apports de fumier, le pâturage, l'entretien du sol et les récoltes sanitaires.

Parmi les pratiques agricoles, on a montré l'influence de l'irrigation, des pesticides et des engrais sur les populations de mouches de fruit. Les comparaisons statistiques des pratiques agricoles entre les zones n'ont pas été faites. Cependant, on a tenté de mettre en relation l'influence des pratiques agricoles sur la mouche du fruit.

Les sols sont tous entretenus pendant la saison de l'hivernage, pour réduire le développement des mauvaises herbes qui germent avec les premières pluies. Cet entretien se limite cependant, à un seul désherbage (manuel ou par la mise en place de petit bétail tels que les chèvres) ainsi que par une aération du sol sous les manguiers avec l'aide d'une pioche ou d'une petite charrue tirée par un équidé. On n'a cependant pas montré d'effet significatif de cette pratique sur les mouches du fruit.

Le choix des variétés de mangues n'a pas eu d'influence sur les populations de mouches.

Les plus importantes dissemblances au niveau des pratiques sont observées au niveau de l'utilisation des pesticides, l'utilisation d'engrais et la mise en place de l'irrigation.

L'irrigation est une pratique utilisée de façon très hétérogène selon les vergers. Pour certains vergers, elle n'apparaît pas ; pour d'autres, l'arrosage ne concerne que les jeunes plants ; enfin, certains irriguent régulièrement leurs arbres (H. Vannière, 2004). Bien que son objectif soit celui de permettre une agriculture optimale dans ces zones arides, la pratique de l'irrigation est pourtant corrélée positivement à la présence de ravageurs. L'humidité qu'elle apporte paraît donc être favorable au développement des mouches du fruit.

Une autre pratique agricole a également été testée et se révèle avoir des corrélations positives sur la présence des mouches du fruit : la taille des arbres (Cf. Tableau 19). La taille de l'arbre lors de l'hivernage conditionne toute l'architecture de l'arbre futur mais elle joue aussi un rôle important sur les floraisons et donc sur les fructifications de l'arbre. La hauteur des manguiers agit aussi comme un facteur d'attraction des mouches (coefficient de détermination $R^2=0.283$). Cela peut s'expliquer par le fait que de grands arbres, par leur grand couvert végétal, développent une bonne capacité de fructification et que sous leur couvert végétal, le microclimat est favorable à l'hébergement de mouches.

Ainsi, selon les vergers, 3 grands types de pratiques culturales se détachent et confirment le choix des vergers:

- ✓ Sans entretien, c'est-à-dire : peu ou pas taillés, pas de ramassage des feuilles au sol, sans traitements, ni engrais et souvent très riches en manguiers ;
- ✓ Faible entretien, avec une grande diversité d'espèces cultivées ;
- ✓ Bien entretenus, structurés et monocultureaux.

Ces pratiques, qui ont un effet positif sur les populations de mouches, comme l'utilisation de pesticides, sont nécessaires au bon fonctionnement de l'exploitation afin de limiter les dégâts des ravageurs sur les récoltes et sont donc les témoins d'un bon entretien du verger et correspondent à une stratégie individuelle. Malgré la physionomie des vergers sénégalais, ces stratégies individuelles devraient être coordonnées au niveau du bassin de production, afin d'avoir un contrôle des ravageurs.

8.5) Diversité des haies et environnement direct.

Malgré l'étude des espèces composant les haies autour de chaque parcelle élémentaire, la diversité des haies n'aura pas montré une relation significative avec une éventuelle augmentation de population de *B. invadens* ou de *C. cosyra*.

Bien que les mouches du fruit aient été introduites accidentellement, avec les mangues malaysiennes, elles ont rapidement su se disperser sur tout le continent africain et elles provoquent aujourd'hui, d'importants dommages sur les récoltes de mangues. Ces animaux doivent faire preuve d'une bonne résistance aux conditions environnementales de ce nouvel habitat, mais c'est surtout l'hypothèse ERH (*Enemy Release Hypothesis*) qui est dorénavant préférée pour expliquer la capacité de ces insectes à s'être acclimaté avec autant de facilité. Cette hypothèse veut que le facteur principal du succès de l'invasion, réside dans le fait que le nouvel environnement ne comporte aucun prédateur contre cet arrivant étranger.

La diversité des haies, semble donc ne pas offrir d'habitats favorables au développement des auxiliaires de cultures, à savoir, les prédateurs ou les parasitoïdes des mouches du fruit. *B. invadens* observées dans les différents vergers de mangue est une espèce invasive qui n'a aucun prédateurs ou parasitoïdes, connus à ce jour, sur ce nouveau territoire. Cette diversité n'est donc pas corrélée avec la présence d'un éventuel régulateur de population mais offre aux mouches du fruit, un plus grand choix de plantes-hôtes.

L'environnement autour du verger a été étudié. Cependant, bien que l'hypothèse de zones refuges favorables à la survie des mouches lors de la mauvaise saison ait été envisagée, les calculs statistiques d'un possible effet sur les densités de population de ravageurs ne semble pas révéler de corrélation possible.

Conclusion et perspectives

IX. Conclusion et perspectives.

Malgré tous les paramètres pris en compte lors de cette étude, il reste encore aujourd'hui difficile de pouvoir caractériser avec précisions les facteurs d'attractivités et/ou des méthodes de lutte affinées contre ces ravageurs que sont les mouches du fruit.

Ces études ont permis d'appuyer certaines hypothèses de l'effet des pratiques agricoles sur les pullulations de mouches du fruit, comme l'utilisation de pesticides, l'irrigation, etc. Cependant ces résultats doivent être précautionneusement réfléchis. La présence de mouches est en effet corrélée positivement avec l'utilisation de pesticides.

Pourtant, ces mouches ne sont pas attirées par le traitement (bien qu'il utilise un attractif sexuel de synthèse associé à un pesticide) mais c'est parce qu'il y a des mouches que les pesticides sont utilisés. La présence des mouches n'est pas une conséquence de l'utilisation de traitements chimiques, mais elle en est la cause.

La présence des mouches du fruit est corrélée à celle des papayers dans l'exploitation. Bien que ce ne soit pas sur le papayer que réside l'étude, il est intéressant d'avoir put visualiser l'attractivité du papayer sur ces ravageurs. Cet arbre est en effet une plante-hôte dont la présence influence celle des mouches. Les variations de captures selon les vergers, peuvent être expliquées, notamment, par la présence de papayers dans les parcelles élémentaires.

On a cherché les différentes variables agronomiques utilisée pour caractériser le microclimat des vergers (irrigation, taille des arbres, densité de plantation etc.). Ces variables donnent quelques tendances mais pas de résultats très clairs. Il apparaît donc nécessaire de préciser ces pratiques culturales par des variables plus précises et plus complètes.

L'étude approfondie des variations des densités de populations, non plus à l'échelle temporelle mais à l'échelle spatiale, a révélé de nombreuses disparités dans les répartitions de ces ravageurs au sein des 3 grandes zones d'étude. En effet, Noto est plus sensible aux infestations de mouches du fruit que les autres zones. Cette constatation est également en adéquation avec le résultat du coefficient de détermination $R^2 = 0.3823$ (voir annexes Figure 33) obtenu à partir de l'étude de la corrélation de la distance des parcelles élémentaires à l'océan avec les densités de population de ces ravageurs.

La différenciation des vergers de Noto est apparue fréquemment, mais l'hypothèse selon laquelle le microclimat des vergers conditionnera la présence du ravageur, n'a put être vérifiée. Il apparaît cependant, que les mesures effectuées dans les parcelles élémentaires, et concernant la caractérisation de ce microclimat, manquent de précisions. Il serait donc nécessaire de préciser certaines mesures telles que la couverture du sol sous les arbres, importance de la frondaison, microclimat (mesures de température et d'humidité sous les arbres) et les autres cultures dans le verger...etc.

La caractérisation des mouches des fruits s'est faite sur des indicateurs établis sur les observations de l'année en cours. Il apparaît nécessaire d'avoir une meilleure connaissance de la biologie des mouches des fruits qui pourraient permettre de choisir des indicateurs plus pertinents. Enfin, les observations de terrain, restent prioritaires et indispensables pour définir de nouvelles hypothèses sur les facteurs d'attractivité des vergers de manguiers sénégalais.

Bibliographie

Travaux cités

Comité Technique Mangue Sénégal, PPEA. (2002). *422cahierchargesmangue*. Consulté le 2010, sur iflexsenegal:

<http://www.iflexsenegal.org/ref/REFERENTIEL%20QUALITE/422cahierchargesmangue.pdf>

Ministère de l'environnement et de la protection de la Nature. (1997). Rapport National Biodiversité. *projet SEN/96/G31/A/1G/99-BIODIVERSITE* (pp. 1-22). Dakar: République du Sénégal.

Arbonnier, M. *Ligneux du Sahel*. Quae.

Assié, B. (2008). *l'attaque des manguiers par les termites dans la région de Thiès au Sénégal*. Thiès.

A-T. Ba, K. N. (2001, septembre). Flore et biodiversité au Sénégal. *Sciences et changements planétaires / sécheresse vol.12 ; n°3*, pp. 149-155.

Bouzillé, J.-B. (2007). *Gestion des habitats naturels et biodiversité*. TEC & DOC de Lavoisier.

Centre de Suivi Ecologique. (2000). Annuaire sur l'Environnement et les Ressources Naturelles du Sénégal,. (p. 268). Dakar: Ministère de l'Environnement, Sénégal.

Claudel, S. (2003). *Modélisation spatio-temporelle des populations de*. Montpellier.

Dr Haougui Adamou, I. N. (s.d.). *Les pratiques culturelles et leurs effets sur les ennemis des cultures*. Consulté le 2010, sur onide-endogene: <http://onide-endogene.org/docs/doc1.pdf>

F. le Bellec, V. I. (1997). *Le verger tropical, cultiver les arbres fruitiers*. Orphie pour le CIRAD.

FAO. (1996, juillet 24-26). *Définition recommandée by FAO-EMPRES Expert Consultation*. Récupéré sur www.fao.org: www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGA/EMPRES

F-X. ndzana Abanda, S. Q.-F. (2009). Inventaire des espèces de mouches des fruits sur goyave dans la région de Yaoundé au Cameroun. *FRUITS*, vol.63 , 19-21.

Gerbaud, P. (2010, février). Bilan de la campagne mangue 2009 par Origine. *fruitrop*, p. 26.

GRAB, F. &. (2003). *orgprints/2967*. Consulté le avril 12, 2010, sur [organiceprints](http://organiceprints.org): www.orgprints.org/2967/1/mouches.doc

H. Vannière, C. D.-Y.-M. (2004). The mango in French speaking Africa : cropping systems and agronomical practices. *Fruits vol.59*, 383-398.

I-M. White, M. E.-H. (1992). Fruit flies of significance: their identification and bionomis. *Redwood Press, U.K*, p. 601.

IRD. (s.d.). *cartographie du Sénégal*. Consulté le juillet 09, 2010, sur IRD: <http://www.ird.fr/l-ird-dans-le-monde/afrique-de-l-ouest-et-centrale>

- J.F Vayssières, Y. C. (2008). Development of Immature Stages and Comparative Demography of two cucurbit-Attacking Fruit Flies in Reunion Island : *B. cucurbitae* and *Dacus ciliatus* . *Entomological Society of America* , 307-314.
- J.Y Rey, T. M. (2007). the mango in French-speaking West Africa: varieties and varietal composition of the orchards. *EDP Sciences vol.59* , 191-208.
- J-F Vayssieres, A. S.-G. (2010). *Mouche des fruits du manguier*. Consulté le 07 10, 2010, sur cirad: http://www.cirad.bf/fr/anx/mouche1_02.php
- J-F Vayssieres, A. S.-G. (2010). *Mouches des fruits du manguier*. Consulté le 07 10, 2010, sur cirad: http://www.cirad.bf/fr/anx/mouche1_01.php
- J-F. Vayssières, A. A. (2009, février). fiche n°8 du Projet Régional de Lutte Contre les Mouches des fruits en Afrique de l'Ouest. *Gamme de plantes-hôtes cultivées et sauvages pour les principales espèces de mouche des fruits* . CIRAD.
- J-Y. Rey, T.-M. D. (2004). *La mangue en Afrique de l'Ouest francophone*. Montpellier: Fruits vol.59, p121-129.
- milleniumgoals*. (s.d.). Consulté le juillet 20, 2010, sur un.org: www.un.org/french/milleniumgoals/
- Ndiaye, O. (2009). *plantes hôtes et foyers de réinfestation des mouches des fruits: facteurs phénologiques, morpho-physiologiques déterminants sur les infestations de la mangue*. Thiès.
- Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes. (2006, septembre 19). Consulté le avril 13, 2010, sur [pqr.eppo.org](http://www.eppo.org): http://www.eppo.org/QUARANTINE/insects/Ceratitis_cosyra/CERTCO_map.htm
- Organization, F. a. (24-26 juillet 1996). definition "peste animale/végétale". *EMPRES Expert Consultation* .
- P. Rousse, E. H. (2005). *Fopius arisanus*, an egg-pupal parasitoid of Tephritidae. *CAB International* , 59-69.
- Quilici, S., Duyck, P.-F., Rousse, P., Gourdon, F., Simiand, C., & Franck, A. (2005). La mouche de la pêche sur mangue, goyave, etc. A la Réunion, évolution de recherches et des méthodes de lutte. *Phytoma la Défense des végétaux* (584), pp. 44-47.
- R.A.I. Drew, K. T. (2005, février). A new species of pest fruit fly (Diptera: Tephritidae: Dacinae) from Sri Lanka and Africa. *African Entomology n°13* , pp. 149–154 .
- réseau ROSELT et OSS avec la collaboration de l'USTHB. (avril 2008). *Synthèse Afrique du Nord : "Flore, Végétation et Occupation des terres"*. surveillance environnementale à long terme en réseau Circum-Sharien.
- Ricci, B. (14 septembre 2009). *Dynamique spatiale et dégâts de carpocapse*.
- Ricklefs, L. (2005). *Ecologie* . de Boeck .

S. Simon, B. S. (2009). Manipulation des habitats du verger biologique et de son environnement pour le contrôle des bio-agresseurs. Des éléments pour la modulation des relations arbres-ravageurs-auxiliaires. *Innovation Agronomiques n°4* , pp. 125-134.

Sénégal, A. N. (s.d.). Consulté le juillet 9, 2010, sur météoSénégal: <http://www.meteo-senegal.net/>

Vivier, B. (1993). *Gutierrez,1976; Tejada, 1980; Weems,1981.*

White, I.-M. (2006). Taxonomy of the Dacina (Diptera: Tephritidae) of Africa and the Middle East. *African entomology* , pp. 1-156.

Annexes :

- ✓ Climactérique : Adjectif qualifiant les fruits qui continuent de mûrir après leur récolte. Ce processus de maturation est induit par « une crise respiratoire ».
- ✓ Drupe : Fruit charnu, contenant une graine ou plus.
- ✓ Panicule florale : Inflorescence composée, formée par une grappe de grappes sur un axe simple.
- ✓ Embryon zygotique : Embryon qui provient de la fusion de deux gamètes.
- ✓ Embryon nucellaire : Ces embryons sont asexuels. Ce sont des clones non fécondés, appelés aussi embryons somatiques.
- ✓ Leks : Rassemblement des mâles de certaines espèces animales, dans une compétition de séduction afin de déterminer les prérogatives pour l'accouplement. C'est un type de parade nuptiale.
- ✓ Scutellum : Surface dorsale de l'abdomen.
- ✓ Spinosad : Insecticide naturel dont la molécule active, appelée spinosad, est issue d'une bactérie, *Saccharopolyspora Spinosa*. Son extraction s'effectue par un procédé original: la fermentation. Les produits de la fermentation de la bactérie sont des métabolites biologiquement actifs baptisés spinosynes A et D. Spinosad est le nom donné au mélange des deux spinosynes.
- ✓ GF-120 : Insecticide utilisé pour lutter contre la mouche du fruit. Il constitue un mélange entre un attractif alimentaire et un insecticide. Il se traduit par une surconsommation par le ravageur, jusqu'à ce que mort s'en suive, sous l'effet de l'insecticide. Ce produit répond aux normes d'intégration dans un programme de lutte intégrée avec la spécificité contre le ravageur (Tephritidae), et l'absence d'attractivité du GF-120 vis-à-vis des insectes auxiliaires (parasitoïdes dont *Fopius arisanus*; prédateurs *Oecophylla longinoda*).
- ✓ Récolte sanitaire : Détruire les stades pré-imaginaux de mouches de fruits qui se retrouvent dans les fruits piqués et/ou tombés (et agissent alors comme des réservoirs), par un ramassage systématique et régulier de ces fruits. Ceux-ci doivent ensuite être conditionnés dans des sacs plastiques noirs laissés au soleil et/ou brûlés

afin de détruire les œufs et les larves de mouches dans les fruits par des températures élevées.

- ✓ Lutte raisonnée : Cette méthode est recommandée dans le cadre du développement d'une agriculture durable.

Cette lutte comprend :

- Systèmes de piégeage : Le piégeage répond à deux objectifs qui sont le piégeage de masse et le contrôle par comptage des individus piégés (atteinte de seuils d'intervention). On distingue différents types de pièges basés sur trois types d'attractifs : les attractifs alimentaires, les attractifs sexuels (paraphéromonaux) et les attractifs visuels qui reproduisent chromatiquement la couleur de ponte des espèces visées.
- Traitement par tâches : Le traitement par tâches consiste à pulvériser un attractif associé à un insecticide sur les arbres des vergers.
- Mesures prophylactiques : Des mesures culturales simples permettent d'améliorer la défense des cultures contre les mouches des fruits : ramassage des fruits à terre, coupe, irrigation. . .
- Lutte biologique : La lutte biologique contre les mouches des fruits consiste en des lâchers de parasitoïdes qui déciment les populations.
- Lutte autocide : La lutte autocide repose sur des lâchers de mâles stériles destinés à éradiquer les populations de Téphritides.

- ✓ Coefficient d'abondance- dominance et de sociabilité utilisés pour les relevés phytosociologiques dans les haies :

Coefficient d'abondance-dominance :

- 5** : recouvrement (**R**) > 75%
- 4** : $50 < \mathbf{R} < 75\%$
- 3** : $25 < \mathbf{R} < 50\%$
- 2** : très nombreux individus et $\mathbf{R} < 5\%$ ou $5 < \mathbf{R} < 25$
- 1** : plante abondante et $\mathbf{R} < 1\%$ ou $1 < \mathbf{R} < 5\%$
- +** : Plante peu abondante et $\mathbf{R} < 1\%$
- r** : plante rare (quelques pieds)

Coefficient de sociabilité :

- 5** : tapis continu
- 4** : colonies ou tapis discontinus
- 3** : individus groupés en tâches
- 2** : individus répartis en petits groupes isolés
- 1** : individu isolé

Lorsque l'espèce se répartie régulièrement dans le relevé, on peut appliquer le chiffre d'abondance-dominance à celui de la sociabilité.

- ✓ Cartes géographiques de l'ensemble des vergers étudiés. D'après les photos aériennes de Google-Earth®. Tous les vergers y sont représentés, pour chacune des zones concernées :



Figure 23: Identification de tous les vergers de la zone de Pout.

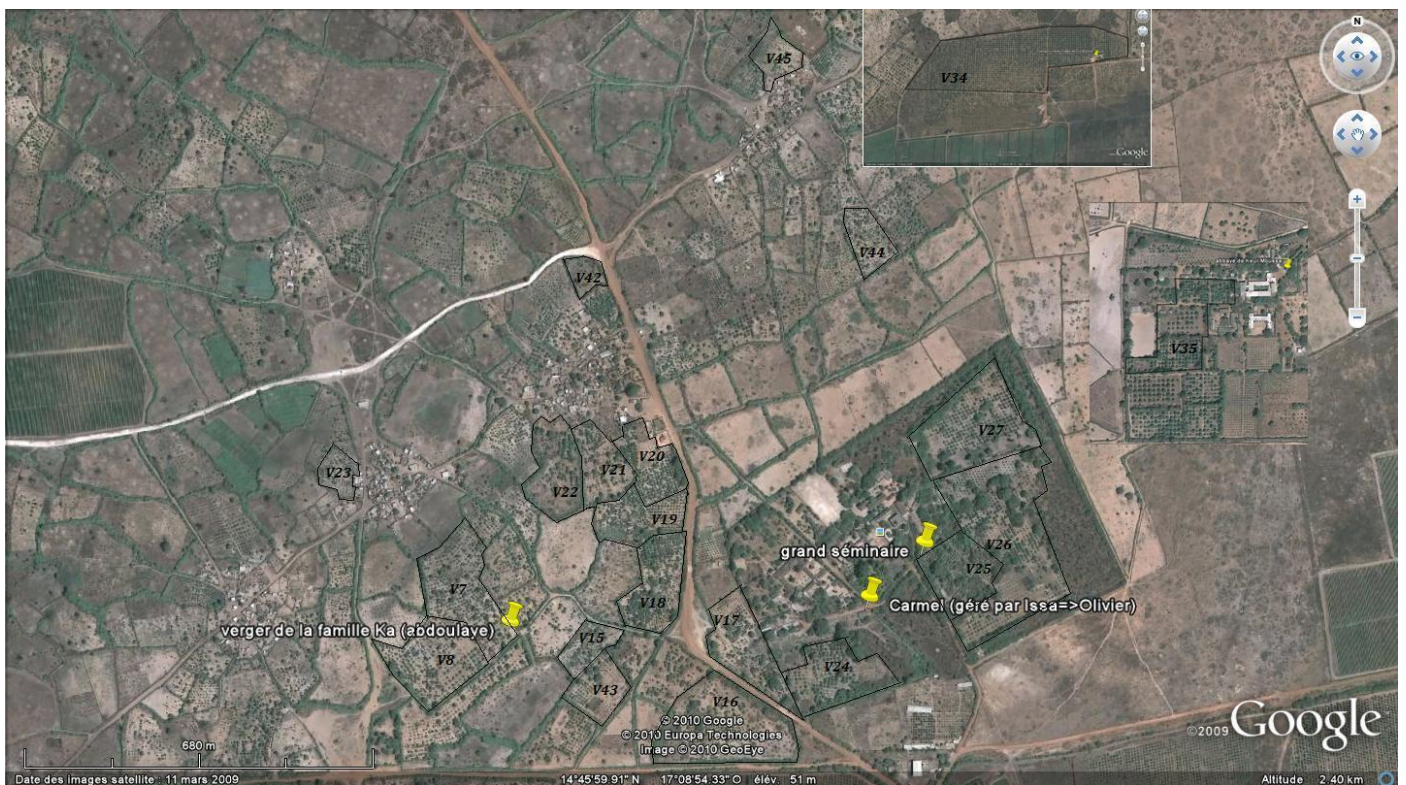


Figure 24: Identification de tous les vergers de la zone de Sébikhotane (appelée KA).

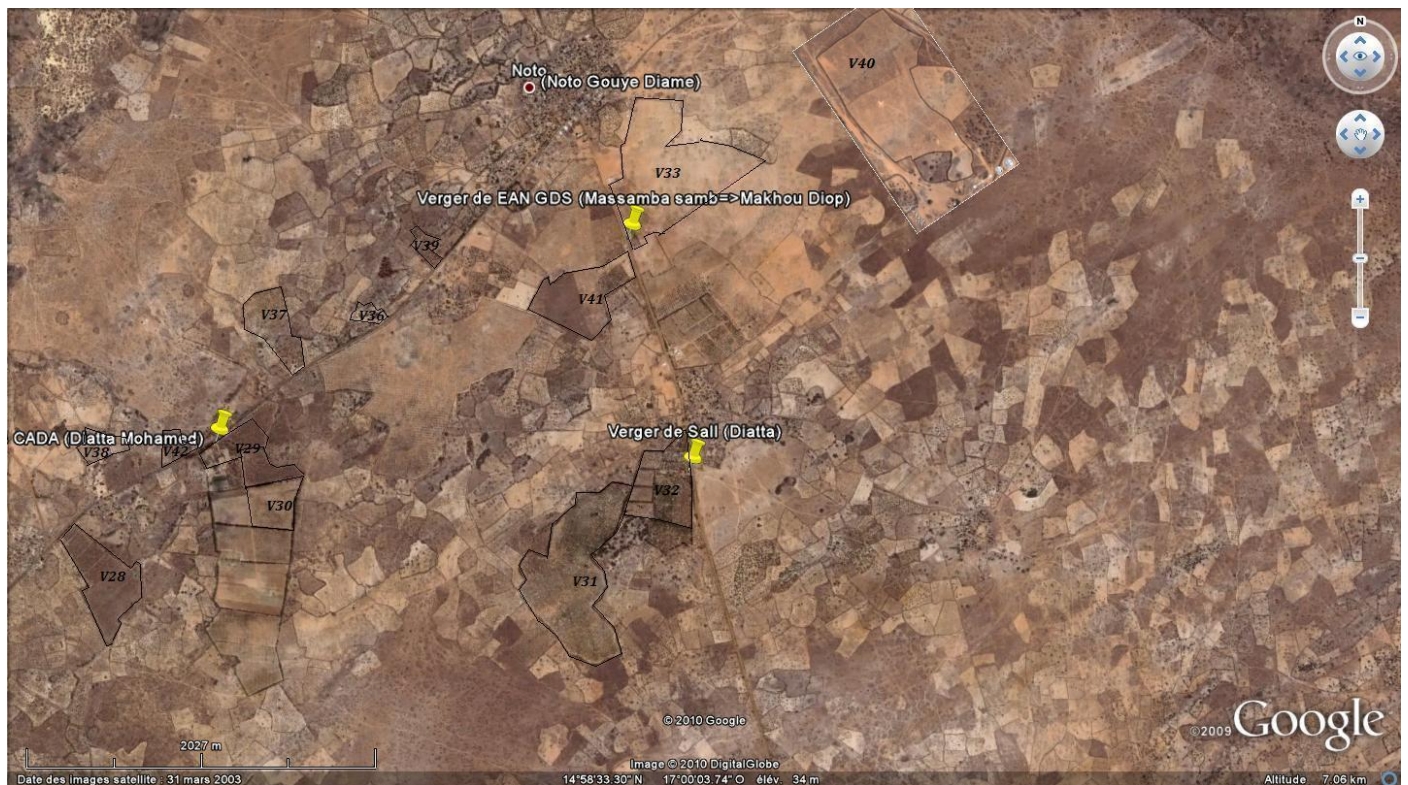


Figure 25: Identification de tous les vergers de la zone de Noto.

- ✓ Proportions en espèces d'arbres fruitiers et en variétés de mangues des vergers des 3 zones d'étude :

Tableau 17: Proportions en variétés de mangues des vergers de Pout, Sébikhotane et Noto.

variétés	Pout	Sébikhotane	Noto
Amélie	1	1	0
Kent	166.1	553	1207
Mangue pêche	0	14	0
Greffal	11.2	11	0
Mangue papaye	0	0	0
DBG	0	21	33
BDH	57.1	69	9
Séwé	8.6	25	39
Keit	12.6	13	121

Tableau 16: Proportions en espèces fruitières cultivées dans les vergers de Pout, Sébikhotane et Noto.

espèces	Pout	Sébikhotane	Noto
mangue	269	713	1411
citron	4.2	77	26
mandarine	0	199	363
orange	21.2	357	36
pomelo	7.1	672	83
kumquat	14.2	1	0
papaye	581.6	97	1
avocat	41.4	1	1
sapotille	160.3	2	25
goyave	172.1	21	0
annone / corossol	207	18	2
noix de cajou	0	3	6
surelle	0	1	0
banane	0	1	0
cocotier/ palmier	0	0	2

✓ Echelle de caractérisation de l'état de santé des arbres :

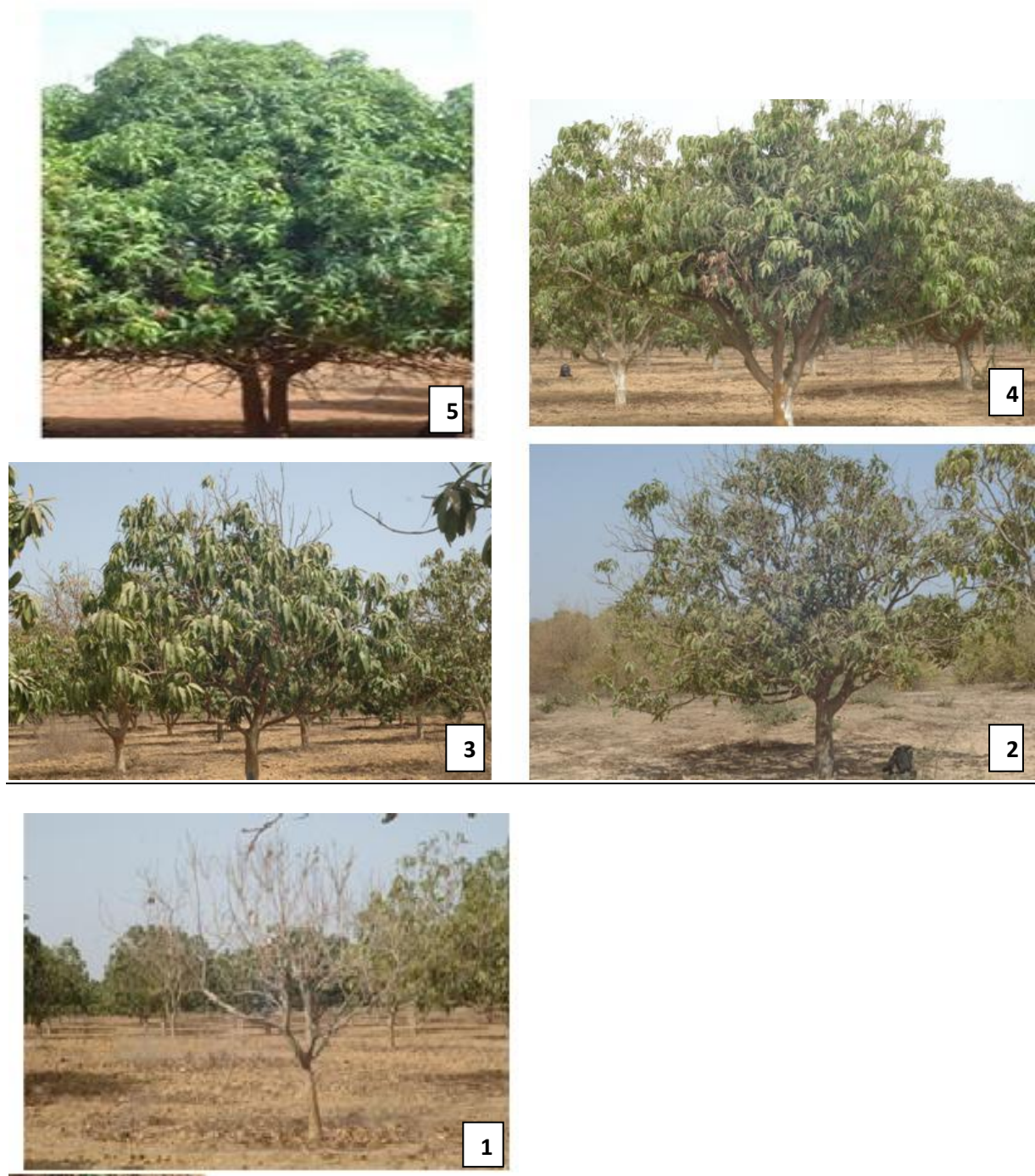


Figure 26: Caractérisation de "l'état de santé" des arbres, exemples d'arbres.

- ✓ Ensemble des différents thèmes et questions abordées dans le questionnaire d'enquêtes sur les pratiques agricoles.

Tableau 18: Questionnaire d'enquête de caractérisation des pratiques agricoles.

Enquête de caractérisation des pratiques agricoles

numéro d'enquête					
nom de l'exploitation					
situation géographique					
approche maritime					
latitude					
altitude					
superficie par culture	culture				
	superficie				
superficie de l'exploitation					
type	mono	poly			
pâturage	oui	non			
type de sol	brun-rouge	sableux			
porosité du sol	mauvaise	bonne			
température moyenne					
pluviométrie moyenne					
saison	sèche	pluie			
jours de brouillards					
source de l'eau					
ensoleillement	fréquence	taux d'ensoleillement			
événements catastrophiques					
la culture de la mangue					
variété					
critère de choix	qualité du fruit	économique	résistance	technique	
superficie par variété					
âge de la plantation					
distance de plantation	sur le rang	entre rangs			
densité de plantation					
surface nette					
irrigation	localisée	submersion	canaux	Mécanique	
mécanique	sur frondaison	sous frondaison			
	canon, sprinkler	goutte à goutte, pivots, micro-jets			

matériel	Tracteur : (nombre + puissance)	Outils du sol : (charrue, disque, herse)	Pulvérisation : (contenance de cuve+type de diffusion)		
antécédent culturaux					
travail du sol	labour	défonçage	décompactage	profilage	drainage
fumure de fond	oui	non			
désinfection du sol	oui	non			
entretien de la parcelle	fumure	désherbage	aération du sol		
les arbres					
issus de pépinières	oui	non			
issus de l'exploitation	oui	non			
sur-greffage	oui	non	objectif		
le greffon	taille	mode conservation	achat/préparés	préparation	
préparation des arbres	coupe	élagage			
mode de greffe	en applique	en écusson	en couronne		
enduit utilisé	mastic à froid	mastic à chaud	enduit bitumineux		
la nutrition					
apport	organique	Organo-minéral	minéral		
formule d'engrais					
nombre d'apports					
dose (en kg/ha)					
les traitements					
type	aérien	terrestre mécanique	humain		
caractérisation du traitement	litre/ha	matière active	hauteur de traitement		
les pathologies					
Champignon =>maladie	nom			facteur de déclenchement	symptômes
période à risque	début	fin			
traitement antifongique	nom	matière active	dose/ha	cadence entre les traitements	
ravageur	nom			facteur de déclenchement	symptômes
moyen d'avertissement	piège à phéromone	piège à glue	comptage		
prédateur naturel					
période à risque	début	fin			
traitement	nom	matière active	dose/ha	cadence entre les traitements	
autre ravageur	nom				
moyen d'avertissement	piège à phéromone	piège à glue	comptage		

traitement insecticide	nom	matière active	dose/ha	cadence entre les traitements	
autres traitements : noms	symptômes	matière active	dose/ha	cadence entre les traitements	
récolte					
récolte	variétés	critère de maturité (couleur, fermeté, sucre)	date de début	date de fin	matériel utilisé
récolte sanitaires	nombre de récoltes	devenir des fruits			

code couleur des thèmes
situation géographique générale
géologie
climat
irrigation
matériel
type de culture
préparation du sol

plantation
sur-greffe
méthode de greffe
les fumures
traitements
maladies
parasite
prédateur
autres traitements
récolte

- ✓ Estimation de la corrélation entre la présence de Bactrocera invadens et différentes pratiques agricoles.

Tableau 19: Coefficients de détermination de grandes pratiques culturales en relations avec les densités de populations de mouches du fruit.

corrélation pratiques agricoles	coefficient de détermination R ²
Irrigation	0.4258
Engrais chimiques	0.2901
Hauteur des arbres	0.283
Pesticide	0.2766
Fumier	0.2028
Diamètre de frondaison	0.202
Pâturage	0.1868
Mono/poly culture	0.185
Vigueur des arbres	0.1575
Surface ombre au sol	0.131
Litière au sol	0.1023
Entretien du sol	0.053
Habitations autour	0.0208
Taux arbres morts	0.0184
Densité de plantation	0.015
Récolte sanitaires	0.0147

- ✓ Distribution des grands types de milieux entre Pout, Sébikhotane et Noto ; calcul des corrélations possible entre les grands types de milieux encadrant la parcelle élémentaire et les populations de ravageurs.

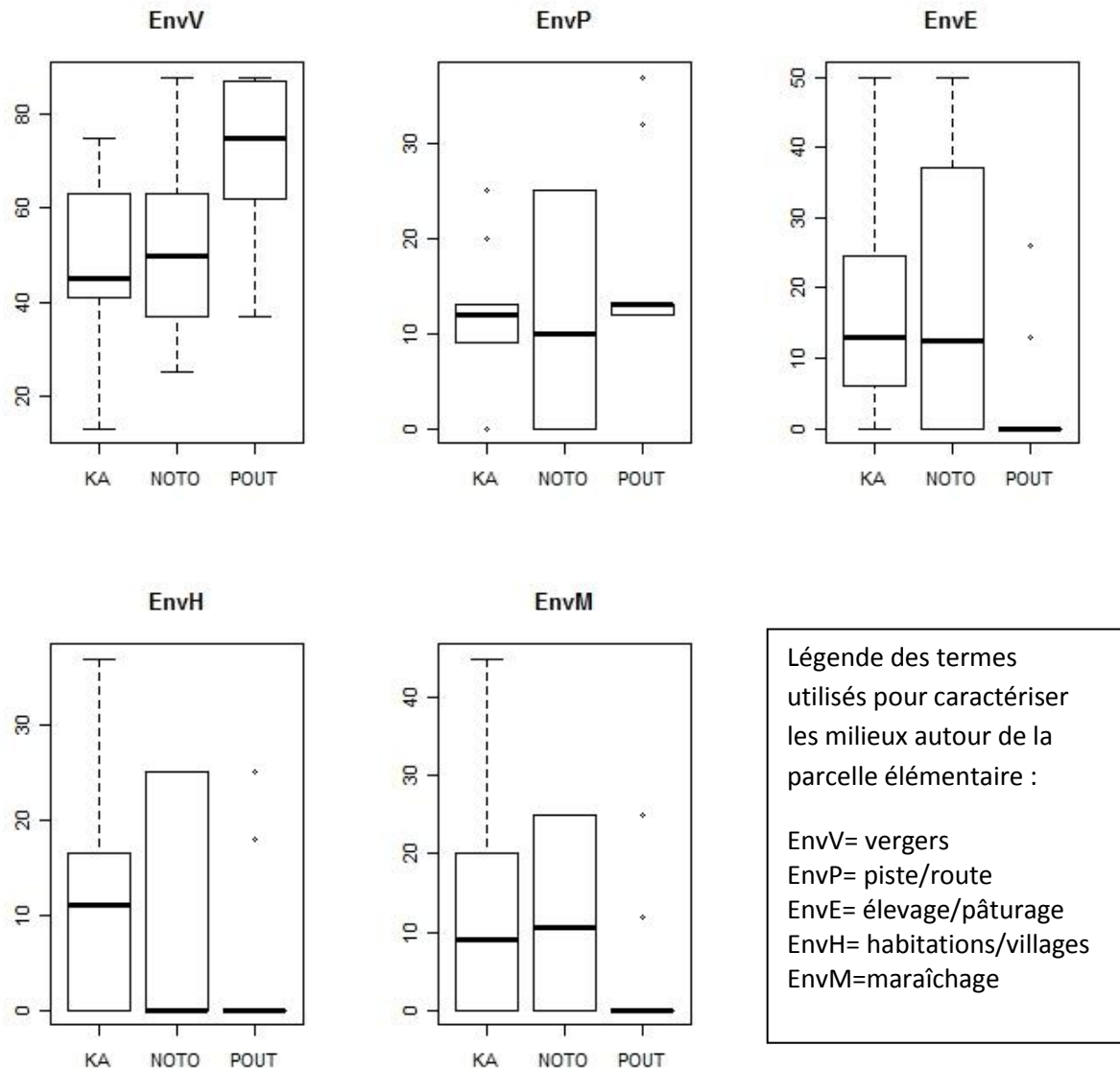


Figure 27: Distribution des milieux qui bordent la parcelle élémentaire dans les 3 zones.

- ✓ Estimation du degré de corrélation entre les densités de population de ravageurs et le pourcentage d'occupation des différents types d'habitat autour de la parcelle élémentaire.

Tableau 20: Coefficients de détermination des grands types de milieux encadrant les vergers.

environnement autour	coefficient de détermination R ²
Piste/route	0.2247
Elevage / pâture	0.1071
maraîchage	0.1041
vergers	0.0375
Habitations/villages	0.0208

- ✓ Méthode de calcul des indices de Shannon sur R : *(Historique des commandes sur R, pour la zone de Pout)*

Liste des commandes utilisées avec le logiciel R, à des fins de calcul de l'indice de diversité de Shannon.

Library (vegan)

```
verger1=c(3,0.1,0.5,15,37.5,0,0,3,87.5,15,0,0,0,3,3,15)
```

```
verger2=c(3,0.5,0,15,37.5,0,0,3,87.5,15,0,0,0,3,1,15)
```

```
verger3=c(9,15,0,3,10.16,0,0,37.5,87.5,15,0,0,0,0,0,3)
```

```
verger5=c(45.25,9,0,3,3,62.5,0,0,0,15,0,3,15,0.1,15,0)
```

```
verger6=c(3,0.1,0,3,3,62.5,0,0,87.5,15,0,3,15,0.5,15,0)
```

```
verger9=c(26.83,7,0,3,3,32.75,0,0,87.5,15,0.5,3,15,0.1,15,0)
```

```
verger10=c(11,11,0,3,3,62.5,0,0,87.5,15,0.5,3,15,0.1,15,0)
```

```
verger14=c(62.5,15,0,0,0,0,0.1,0,20.25,0,0,0,0,15,0,0)
```

```
spout=rbind(verger1,verger2,verger3,verger5,verger6,verger9,verger10,verger14)
```

```
shannonP=diversity(spout)
```

- ✓ Calculs et représentations graphique des indices de Shannon pour les 3 zones d'études :

Tableau 21: Calcul des indices de Shannon des vergers de Noto et représentation graphique

Numéro de verger à Noto	Indice de Shannon
verger 33	0
verger 32	0.4967964
verger 38	0.7762141
verger 28	1.0770896
verger 36	1.0963565
verger 37	1.0963565
verger 40	1.1518462
verger 41	1.2849679
verger 29	1.3392225
verger 30	1.3392225
verger 34	1.3694241
verger 39	1.3776109
verger 31	1.8529302
verger 35	2.0974599

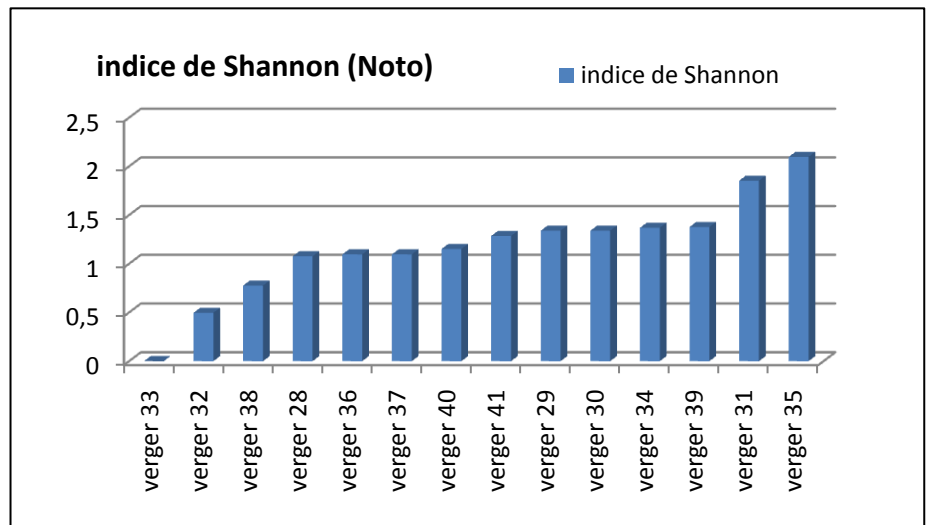


Tableau 22: Calcul des indices de Shannon des vergers de Sébikhotane et représentation graphique

numéro de verger à Sébikhotane	indice de Shannon
verger 16	0
verger 21	0
verger 43	0.2806557
verger 23	0.4382487
verger 22	0.445535
verger 15	0.938083
verger 45	1.1198772
verger 8	1.1803142
verger 18	1.2579904
verger 19	1.2762869
verger 20	1.2762869
verger 44	1.2896226
verger 42	1.5022614
verger 34	1.5910652
verger 7	1.6381777
verger 35	2.1035366
verger 24	2.5580496
verger 25	2.702345
verger 26	2.7704336
verger 27	2.83057

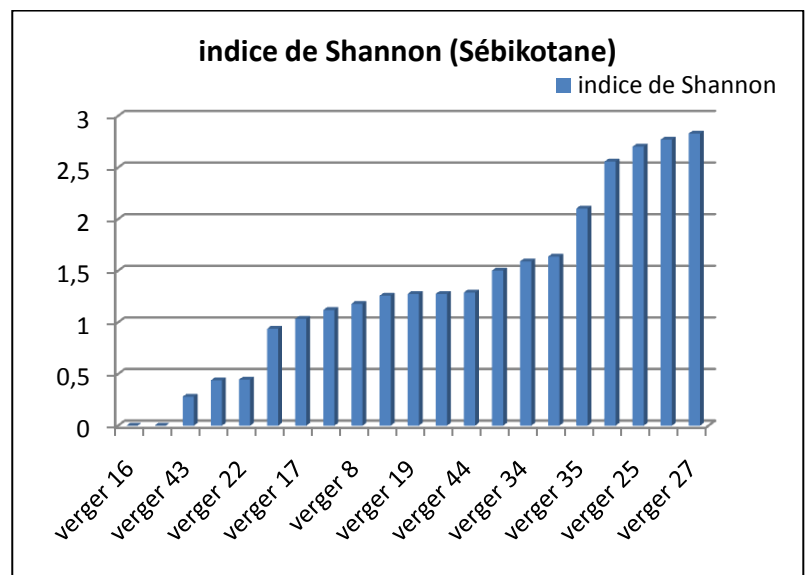
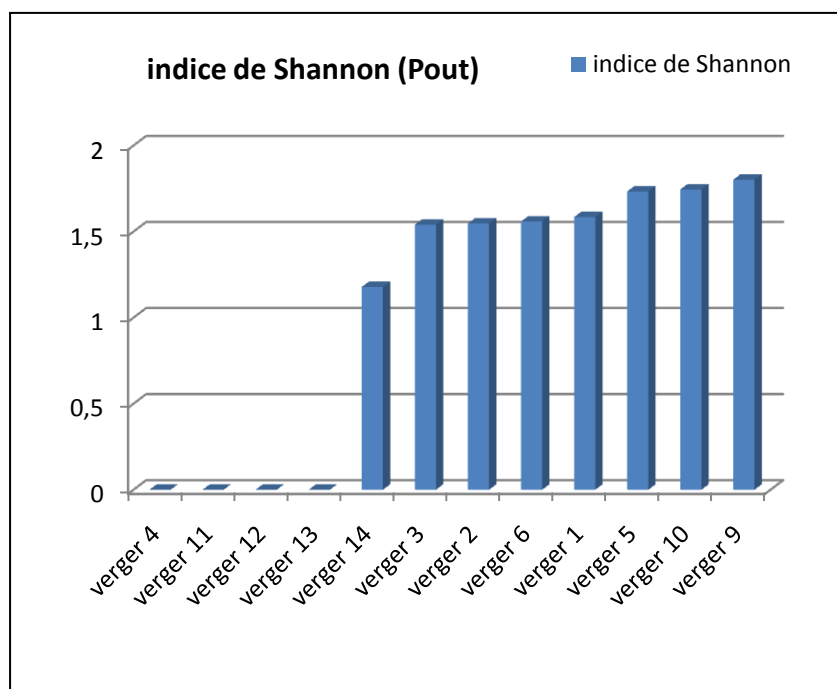


Tableau 23 : Indice de Shannon associé à chaque verger de Pout et représentation graphique.

numéro de verger à Pout	indice de Shannon
verger 4	0
verger 11	0
verger 12	0
verger 13	0
verger 14	1.178215
verger 3	1.539622
verger 2	1.547064
verger 6	1.558228
verger 1	1.583804
verger 5	1.732857
verger 10	1.744268
verger 9	1.801497



✓ Répartition des indices semi-quantitatifs des enquêtes sur les pratiques agricoles.

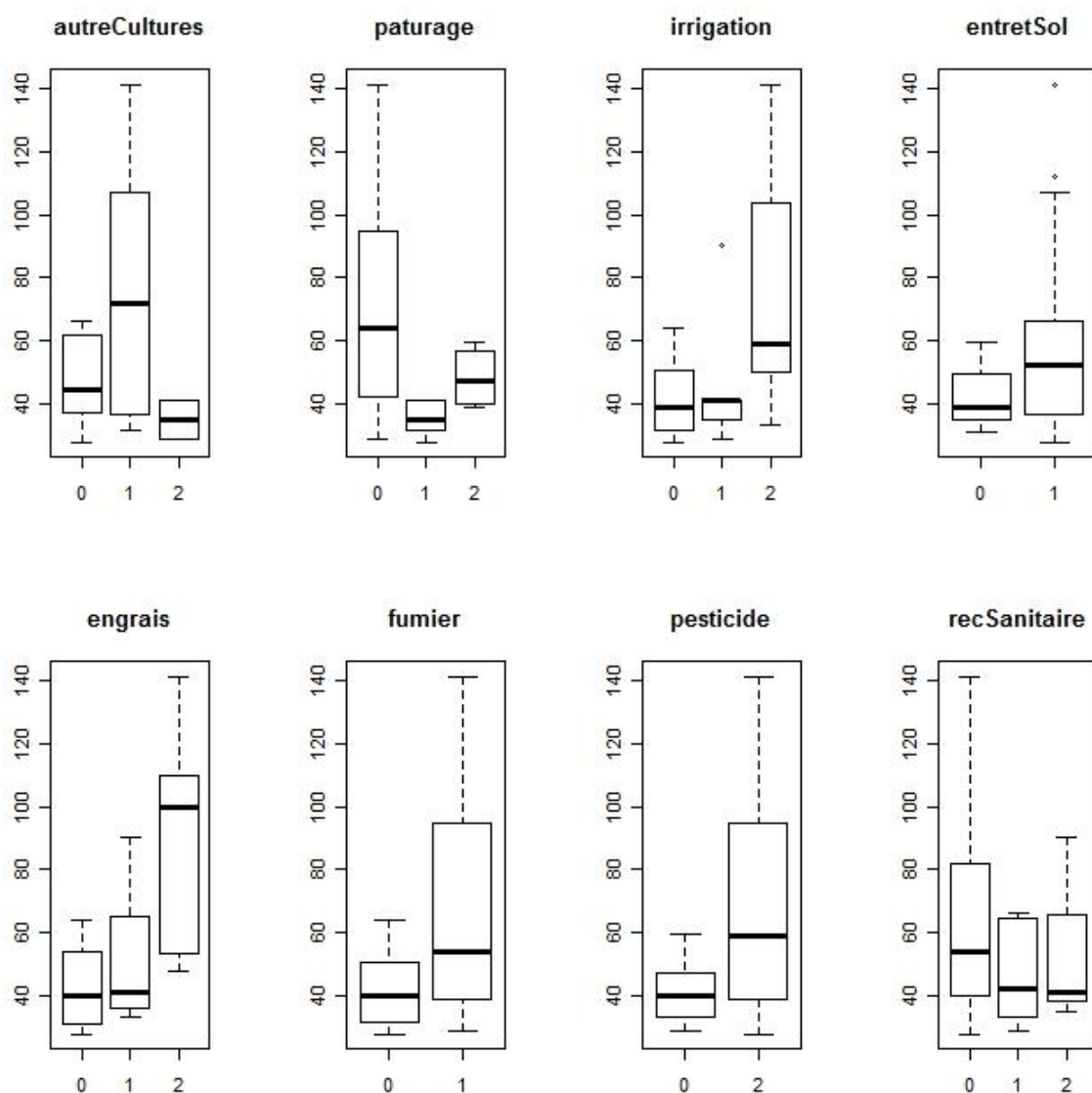


Figure 28: Distribution des indices semi-quantitatifs des différentes pratiques agricoles des vergers sénégalais.

- ✓ Liste des espèces végétales rencontrées dans les haies pour les 3 zones d'étude :
Pout, Sébikhotane, Noto :

Tableau 24: Noms scientifiques des différentes espèces végétales identifiées dans les haies pour les 3 zones d'étude.

liste des espèces :
POUT
<i>Acacia seyal</i>
<i>Azadirachta indica</i>
<i>Bougainvillea glabra x sanderiana</i>
<i>Cadaba farinosa</i>
<i>Combretum sp</i>
<i>Dichrostachys cinerea</i>
<i>Eucalyptus sp</i>
<i>Euphorbia balsamifera</i>
<i>Euphorbia tirucalli</i>
<i>Grewia bicolor</i>
<i>Lantana camara</i>
<i>Mangifera indica</i>
<i>Moringa oleifera</i>
<i>Piliostigma reticulatum</i>
<i>Strophantus sarmentosus</i>
<i>Ziziphus mauritania</i>
SEBIKOTANE
<i>Acacia macrostachya</i>
<i>Acacia seyal</i>
<i>Acacia laeta</i>
<i>Adansonia digitata</i>
<i>Agave sisalana</i>
<i>Anacardium occidentale</i>
<i>Azadirachta indica</i>
<i>Bauhinia rufescens</i>
<i>Bougainvillea glabra x sanderiana</i>
<i>Cadaba farinosa</i>
<i>Calotropis procera</i>
<i>Combretum sp</i>
<i>Dichrostachys cinerea</i>
<i>Eucalyptus sp</i>
<i>Euphorbia balsamifera</i>
<i>Euphorbia tirucalli</i>
<i>Faidherbia albida</i>
<i>Ficus sp</i>

<i>Grewia bicolor</i>
<i>Lannea acida</i>
<i>Lawsonia inermis</i>
<i>Khaya senegalensis</i>
<i>Lantana camara</i>
<i>Mangifera indica</i>
<i>Moringa oleifera</i>
<i>Opuntia tuna</i>
<i>Parkinsonia aculeata</i>
<i>Piliostigma reticulatum</i>
<i>Strophantus sarmentosus</i>
NOTO
<i>Acacia macrostachya</i>
<i>Acacia seyal</i>
<i>Acacia laeta</i>
<i>Adansonia digitata</i>
<i>Agave sisalana</i>
<i>Albizia chevalieri</i>
<i>Anacardium occidentale</i>
<i>Azadirachta indica</i>
<i>Bougainvillea glabra x sanderiana</i>
<i>Combretum glutinosum</i>
<i>Dichrostachys cinerea</i>
<i>Eucalyptus sp</i>
<i>Euphorbia basalmifera</i>
<i>Euphorbia tirucalli</i>
<i>Faidherbia albida</i>
<i>Ficus sp</i>
<i>Grewia bicolor</i>
<i>Khaya senegalensis</i>
<i>Lantana camara</i>
<i>Leucaena leucocephala</i>
<i>Mangifera indica</i>
<i>Opuntia tuna</i>
<i>Parkinsonia aculeata</i>
<i>Piliostigma reticulatum</i>

✓ Liste des espèces fruitières plantées, et identifiées dans les vergers :

Tableau 25: Noms scientifiques, vernaculaires et familles des différentes espèces fruitières rencontrées.

diversité spécifique fruitière plantée		
nom scientifique	famille	nom vernaculaire
<i>Manguifera indica</i>	Anacardiaceae	manguier
<i>Citrus limon</i>	Rutaceae	citron
<i>Citrus reticulata</i>	Rutaceae	mandarine
<i>Citrus sinensis</i>	Rutaceae	orange
<i>Citrus paradisi</i>	Rutaceae	pomelo
<i>Fortunella margarita</i> x <i>Fortunella japonica</i>	Rutaceae	kumquat
<i>Carica papaya</i>	Caricaceae	papaye
<i>Persea americana</i>	Lauraceae	avocat
<i>Manilkara zapota</i>	Sapotaceae	sapotille
<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	goyave
<i>Annona cherimola</i>	Annonaceae	annone
<i>Annona muricata</i>	Annonaceae	corossol
<i>Anacardium occidentale</i>	Anacardiaceae	noix de cajou
<i>Phyllanthus acidus</i>	Euphorbiaceae	surelle
<i>Musa sp</i>	Musaceae	banane
<i>Cocos nucifera</i>	Arecaceae	cocotier
<i>Borassus sp</i>	Arecaceae	palmier rônier

✓ Liste des produits chimiques et des engrais utilisés dans les différents vergers :

Tableau 26: Liste des noms, des molécules actives et des cibles des différents intrants utilisés dans les vergers sénégalais.

traitements utilisés dans les vergers		
nom commercial	molécule active	Cible/ action
Décis	deltamethrine qui appartient à la famille des pyréthri-noïdes	insectes nuisibles.
Manèbe	0.1 % de bifenthrine, 10 % de manèbe, 30 % de soufre.	fongicide
Aliette	80% de Fosétyl	fongicide systémique
oxyde de cuivre	oxyde de cuivre	bactériostatique et fongicide
soufre	soufre	fongicide
Pacha	Iprodione+ Carbendazime	fongicide
Δ-methrine	appartient de la famille des Pyréthri-noïdes.	insecticide et répulsif contre les insectes nuisibles
Lanate	Méthomyl	insecticide
Dursban	Chlorpyrifos-éthyl	insecticide
Diméthoate	Diméthoate	insecticide contre les mouches
NPK	azote, phosphore, potassium	engrais chimique
urée	urée	engrais chimique

- ✓ Corrélation entre distance à la mer et densité de population de ravageurs.

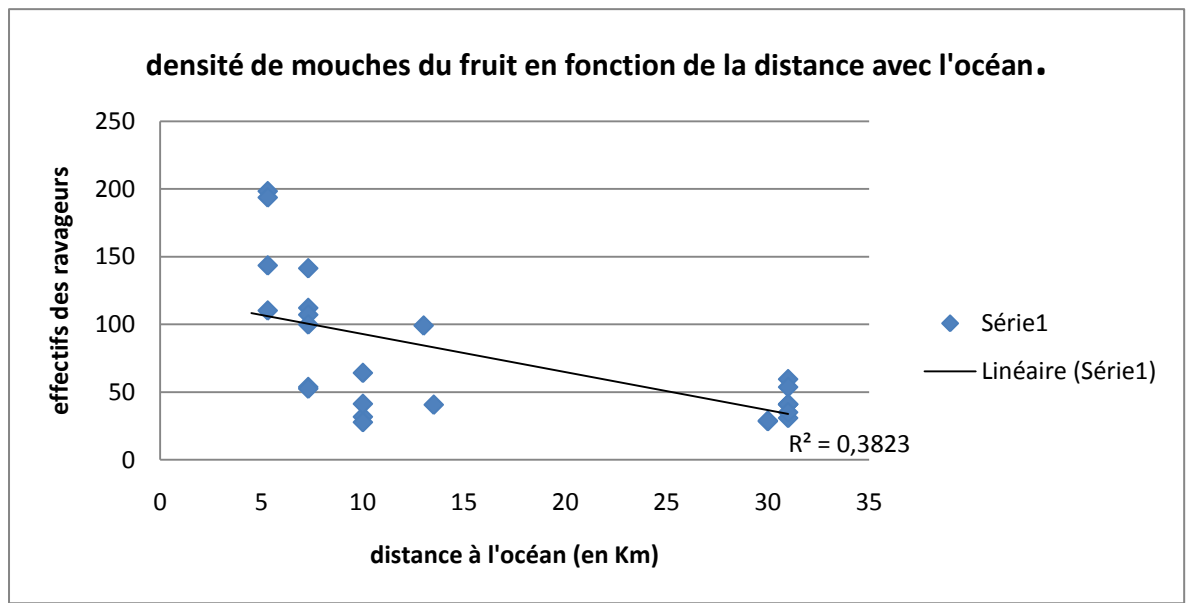


Figure 29: Coefficient de détermination entre distance à l'océan et densité de populations de mouches du fruit.